

Juho Kestilä

HYDRAULIJÄRJESTELMIEN PUHTAUS VALMISTUKSEN AIKANA

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Professori Asko Ellman
Tarkastaja: Yliopisto-opettaja Ilari Laine
Kesäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Juho Kestilä: Hydraulijärjestelmien puhtaus valmistuksen aikana
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2023

Valtaosa hydraulijärjestelmien vioista ja toimintahäiriöistä johtuu järjestelmässä olevista epäpuhtauksista. Järjestelmän toimimattomuudesta syntyy kustannuksia sekä koneen käyttäjälle että takuuajana myös valmistajalle.

Hydraulijärjestelmässä olevat epäpuhtaudet voivat olla joko hiukkasia tai kemikaaleja. Epäpuhtaudet voivat muodostua hydraulijärjestelmän valmistuksessa, syntyä järjestelmän käytön aikana tai joutua järjestelmään ulkoisesta lähteestä.

Epäpuhtaudet aiheuttavat hydraulijärjestelmässä muun muassa kulumista ja korroosiota. Lisäksi ne voivat jumittaa järjestelmän liikkuvia osia, kuten venttiilien karoja. Kuluminen ja korrosio ovat erityisen haitallisia, koska niistä syntyy uusia epäpuhtauksia.

Koska hydraulijärjestelmässä olevilla epäpuhtauksilla on taipumus tuottaa lisää epäpuhtauksia, on tärkeää, että käyttöön otettava uusi hydraulijärjestelmä olisi tarpeeksi puhdas.

Puhtautta hydraulijärjestelmissä ja sen kehittämistä valmistuksen aikana tutkittiin kirjallisuuskatsauksella. Lisäksi tutkittiin tapaustutkimuksena henkilönostinten hydraulijärjestelmien valmistusta Dinolift Oy:ssä.

Tulosten avulla saatiin selvitettyä, millä tavalla saadaan valmistettua puhtaita hydraulijärjestelmiä. Lisäksi selvitettiin, mitä Dinolift Oy voisi tehdä valmistettavien henkilönostinten hydraulijärjestelmien puhtauden kehittämiseksi.

Tutkimuksessa saatiin selville, että valmistettavalle hydraulijärjestelmälle on asetettava sopivalla tasolla oleva puhtaustavoite. Puhtaustavoitteen saavuttamista on myös valvottava. Valvonnan avulla korjaavia toimenpiteitä voidaan kohdistaa ongelmakohtiin.

Valmistetuissa hydraulijärjestelmissä olevia epäpuhtauksia voidaan vähentää oikeilla työtapoilla. Hyväksi havaittuja työtapoja on esitetty esimerkiksi aiheeseen liittyvissä standardeissa, joita on useita.

Järjestelmän komponentit on puhdistettava ja puhdistetut osat on säilytettävä hyvin suojattuina uudelleen likaantumisen estämiseksi. Kokoonpanotiloissa on oltava vähän epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien siirtymistä kokoonpanotiloihin voidaan vähentää muun muassa sopivilla toimintatavoilla ja fyysisillä esteillä, kuten erottamalla kokoonpano omaan tilaansa.

Avainsanat: hydraulikka, valmistus, puhtaus, epäpuhtaus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Juho Kestilä: Cleanliness of hydraulic systems during manufacturing
Master's thesis
Tampere University
Master's Degree Program in Mechanical Engineering
June 2023

Most of the faults and malfunctions in hydraulic systems are caused by contamination in the system. The failure of the system results in costs to the machine operator but also to the manufacturer of the machine during the warranty period.

The contaminants in a hydraulic system can be either particles or chemicals. The contaminants can form during the manufacture of the system, during operation or they may get into the system from an outside source.

The consequences of contaminants in a hydraulic system can be for example wear and corrosion. The contaminants can also prevent motion of parts such as valve spools in the system. Wear and corrosion are especially harmful because they generate new contaminants.

It is important that a new hydraulic system being deployed is clean enough because the contaminants already in the system tend to form more contaminants.

A literature survey was made to study cleanliness in hydraulic systems and its improvement. In addition, a case study was made on the manufacture of hydraulic systems at Dinolift Oy.

The results showed how it is possible to manufacture clean hydraulic systems. Additionally, it was researched how Dinolift Oy could improve cleanliness in hydraulic systems it manufactures.

It was found out in the research that a cleanliness requirement should be specified for the hydraulic system. Meeting of the requirement should also be monitored. The monitoring helps concentrate the corrective actions on the actual problems.

The amount of contaminants in the hydraulic systems being manufactured can be reduced with correct practices. Methods to reduce contamination are presented in relevant standards, which are numerous.

The components of the system must be cleaned and protected while in storage to prevent contaminating again. There should be few contaminants in the assembly area. The transfer of contaminants to the assembly area can be reduced with suitable actions and physical barriers such as separating assembly in its own room.

Keywords: hydraulics, manufacturing, cleanliness, contamination

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Dinolift Oy:n toimeksiannosta kesän 2022 ja alkuvuoden 2023 välisenä aikana. Työn tavoitteena oli kehittää puhtautta hydraulijärjestelmien valmistuksen aikana.

Haluan kiittää ohjaajaani Tapio Kodisojaa sekä tarkastajia Asko Ellmania ja Ilari Lainetta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia, jotka ovat Dinoliftillä vastanneet kysymyksiini.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani tuesta opiskelun aikana.

Loimaalla, 30.5.2023

Juho Kestilä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Dinolift Oy	1
1.2 Tutkimuskysymykset, työn rakenne ja tutkimusmenetelmät	2
2. PUHTAUS HYDRAULIJÄRJESTELMISSÄ	4
2.1 Epäpuhtaudet.....	4
2.1.1 Hiukkasepäpuhtaudet	4
2.1.2 Kemialliset epäpuhtaudet.....	5
2.2 Epäpuhtauksien vaikutukset.....	6
2.2.1 Kemialliset epäpuhtaudet.....	6
2.2.2 Hiukkasepäpuhtaudet	7
2.3 Epäpuhtauksien ominaisuuksia	8
2.4 Epäpuhtauksien määrä	9
2.4.1 CETOP RP70	10
2.4.2 ISO 4406	10
2.4.3 NAS 1638	11
2.4.4 SAE	11
2.4.5 Muunnokset merkintäjärjestelmien välillä	11
2.5 Öljyn puhtauden määrittäminen	12
2.5.1 Näytteenotto	12
2.5.2 Näytteen analysointi.....	13
2.6 Hydrauliohjain suodatus	14
2.6.1 Suodattimet.....	14
2.6.2 Suodattimen suorituskyky	16
2.6.3 Suodattimen vikaantuminen	17
3. UUDEN KONEEN PUHTAUS	18
3.1 Standardit puhtaudelle valmistuksen aikana	19
3.2 Puhtaustavoite	19
3.2.1 Hydrauliohjain puhtaustavoite	20
3.2.2 Komponenttien puhtaustavoite.....	20
3.2.3 Komponenttien puhtauden ilmoittaminen	20
3.3 Epäpuhtauksien synty ja päätyminen hydraulijärjestelmään.....	21
3.3.1 Suunnittelu.....	21
3.3.2 Valmistus	21
3.3.3 Kokoonpano.....	22
3.3.4 Hydrauliohjaus	22
3.4 Puhdistus	23
3.4.1 Komponenttien puhdistus.....	23
3.4.2 Letkujen puhdistus	24
3.4.3 Huuhtelu	24
3.4.4 Hydrauliohjain puhdistus erillisellä laitteistolla	25
3.5 Komponenttien puhtauden mittaaminen	26
4. TAPAUSTUTKIMUS	27
4.1 Tekniikan vaatima puhtaustaso	27

4.1.1 Suodatus	28
4.1.2 Huolto	28
4.2 Tuotannon nykytila	30
4.2.1 Hydraulisyliinterien valmistus	30
4.2.2 Ostokomponentit	32
4.2.3 Varastointi	32
4.2.4 Kokoonpano	34
4.3 Parannusehdotukset	34
5.TULOKSET	36
5.1 Puhtaustavoite ja sen toteutuminen	36
5.2 Työtavat valmistuksen aikana	37
5.3 Varastointi	37
6.YHTEENVETO	39
LÄHTEET	40

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Dino 280RXT henkilönostin.....</i>	<i>2</i>
Kuva 2.	<i>Veden aiheuttamia vaurioita hydraulipumpussa [6]</i>	<i>7</i>
Kuva 3.	<i>Näytteenottopumppu ja näytepulloja [12]</i>	<i>13</i>
Kuva 4.	<i>Hydrauliöljynsuodattimen rakenne [4]</i>	<i>16</i>
Kuva 5.	<i>Vikataajuuden ja koneen käyttöajan suhde</i>	<i>18</i>
Kuva 6.	<i>Öljyn puhtausvaatimus komponentin teknisissä tiedoissa [30]</i>	<i>28</i>
Kuva 7.	<i>Sylinteriputki ennen ja jälkeen puhdistuksen</i>	<i>31</i>
Kuva 8.	<i>Epäpuhtauksia hydrauliliittimen sisällä</i>	<i>33</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CETOP	ransk. Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques, eurooppalainen hydraulikka- ja pneumatiikkakomitea
ISO	engl. International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
SAE	engl. Society of Automotive Engineers, amerikkalainen autoteollisuuden standardisoimisjärjestö
VDA	saks. Verband der Automobilindustrie, Saksan autoteollisuuden yhdistys

1. JOHDANTO

Hydraulijärjestelmä on keskeinen osa monia työkoneita. Koneiden työliikkeet on usein toteutettu hydraulisesti, joten hydraulijärjestelmän toimintahäiriöt tekevät helposti koko koneen käyttökelvottomaksi. Hydraulijärjestelmän luotettava toiminta on siis merkittävä osa koko koneen luotettavuutta.

Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa monenlaisia ongelmia hydraulijärjestelmien toiminnalle. Järjestelmien vikaantumisesta aiheutuu kustannuksia koneen käyttäjälle, mutta mahdollisesti myös valmistajalle, jos ongelmia joudutaan ratkomaan takuuna. Erityisesti on huomattu, että hydraulijärjestelmään valmistuksen aikana joutuvilla epäpuhtauksilla on taakuukustannuksia nostava vaikutus. [1]

1.1 Dinolift Oy

Tämä diplomityö on tehty Dinolift Oy:n toimeksiannosta. Dinolift Oy on loimaalainen henkilönostimia valmistava yritys. Henkilönostimista on vuosien varrella tullut alun perin salaojakoneita valmistaneen yrityksen pääasiallinen ja lopulta ainoa tuote [2].

Dinolift Oy valmistaa Dino-merkkisiä henkilönostimia niin hinattavina, itsekulkevina kuin autoalustaisinakin malleina. Itsekulkevia nostimia valmistetaan sekä pyörä- että telalustaisina. Nostinten käyttövoimana on eri malleissa joko verkkovirta, akut, polttomoottori, tai erilaisia edellä mainittujen yhdistelmiä. Eri nostinten suurin työskentelykorkeus on 10,5 m – 28 m. Kuvassa 1 on esitetty Dinoliftin valmistama itsekulkeva polttomoottorikäyttöinen Dino 280RXT henkilönostin.

Nostinten liikkeet on toteutettu hydraulisesti. Liikkeitä ovat muun muassa puomin nosto ja lasku, puomin teleskoopin ulostyöntö ja sisäänveto, puomin kääntö, tukijalkojen siirtoutenta- ja kuljetusasentojen välillä sekä nostimen siirto ajolaitteella. Osassa malleja on myös muita liikkeitä.

Hydrauliikka on siis tärkeä osa nostinta, ja hydrauliikan toimintahäiriöt voivat estää koneen käyttämisen kokonaan. Nostinten kahden tai joissain tapauksissa kolmen vuoden takuuajana tapahtuvista hydrauliikan toimintahäiriöistä aiheutuu lisäksi merkittäviä kustannuksia valmistajalle.



Kuva 1. Dino 280RXT henkilönostin

1.2 Tutkimuskysymykset, työn rakenne ja tutkimusmenetelmät

Tässä diplomityössä etsitään vastaus kahteen tutkimuskysymykseen. Tutkimuskysymysten asettelulla pyritään löytämään keinoja, joilla Dinolift Oy voi parantaa valmistaмиensa henkilönostinten hydraulijärjestelmien luotettavuutta. Erityisesti tavoitteena on vähentää häiriöitä, jotka johtuvat valmistuksen aikana hydraulijärjestelmään joutuvista epäpuhtauksista. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten saadaan valmistettua kone, jonka hydraulijärjestelmä on riittävän puhdas?
2. Mitä toimia Dinolift Oy:n tuotannossa on jo käytössä epäpuhtauksien torjumiseksi ja mitä voitaisiin vielä tehdä hydraulijärjestelmien puhtauden lisäämiseksi?

Diplomityö on rakenteellisesti jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa selvitetään puhtauden merkitystä hydraulijärjestelmissä. Osassa perehdytään tyypillisimpiin hydraulijärjestelmissä esiintyviin epäpuhtauksiin ja niiden vaikutuksiin hydraulijärjestelmälle. Lisäksi tutustutaan hydraulioöljyn puhtauden merkintätapoihin sekä puhtauden mittaamiseen. Ensimmäinen osa sisältää myös yleiskatsauksen hydraulioöljyn suodatusjärjestelmistä.

Toisessa osassa käsitellään hydraulijärjestelmien puhtautta valmistuksen aikana. Osassa esitellään erilaisten epäpuhtauksien syntytapaa ja päätymistä hydraulijärjestelmään sen valmistusprosessin eri osissa. Toisessa osassa esitellään keinoja riittävän puhtaiden hydraulijärjestelmien valmistamiseksi sekä aiheeseen liittyvää standardointia.

Lisäksi osassa käsitellään myös hydraulijärjestelmälle ja sen komponenteille asetettavia puhtaustavoitteita ja tavoitteiden saavuttamisen varmentamista.

Kolmannessa osassa tarkastellaan valmistuksen aikaista puhtautta Dinolift Oy:ssä. Ensin määritetään millaisia vaatimuksia Dinoliftin valmistamien henkilönostinten hydraulijärjestelmässä käytetyt komponentit asettavat hydraulijärjestelmän puhtaudelle. Sitten tarkastellaan henkilönostinten ja niiden komponenttien valmistusprosessia Dinoliftin tehtaalla. Lopuksi esitellään mahdollisia toimenpiteitä puhtaustason nostamiseksi valmistuvien henkilönostinten hydraulijärjestelmissä.

Työ on rajattu epäpuhtauksien torjuntaan valmistuksen aikana tehtaalla, koska valmistaja ei pysty vaikuttamaan siihen, mitä tuotteelle tapahtuu toimituksen jälkeen. Hydraulijärjestelmässä olevien epäpuhtauksien aiheuttamat viat esiintyvät yleensä pian koneen käyttöönoton jälkeen takuuajana. Niiden vähentämisellä voidaan siis paitsi pienentää Dinolift Oy:lle koituvia takuukustannuksia myös parantaa asiakkaan uudesta koneestaan saamaa laatuvaikutelmaa.

Tutkimusmenetelmänä käytetään pääosin kirjallisuuskatsausta. Kolmas osa on tapaus-tutkimus.

2. PUHTAUS HYDRAULIJÄRJESTELMISSÄ

Hydrauliöljyllä on monia tehtäviä hydraulijärjestelmässä. Sen tärkein tehtävä on siirtää energiaa. Sen lisäksi öljy voitelee hydraulijärjestelmän liikkuvia osia ja suojaa niitä kulumiselta [3], toimii tiivisteenä ja siirtää lämpöä järjestelmässä. Öljyn täytyy myös olla yhteensopiva hydraulijärjestelmän komponenteissa käytettyjen materiaalien kanssa. Myös öljyn muilla ominaisuuksilla kuten tulenkestävyydellä tai ympäristövaikutuksilla voi olla merkitystä joissain käyttökohteissa.

Epäpuhtaudet heikentävät öljyn kykyä toteuttaa näitä tehtäviä. Suurin osa ongelmista hydraulijärjestelmissä johtuu epäpuhtauksista. Tyypillisessä pienessä hydraulijärjestelmässä voi olla jopa miljoonia alle yhden mikrometrin läpimittaisia hiukkasia. Sutherlandin [4] mukaan yli 70 prosenttia vioista hydraulijärjestelmissä on epäpuhtauksien syytä, mutta Hodges [3] arvioi että jopa yli 80 prosenttia kaikista hydraulijärjestelmien häiriöistä johtuu hydrauliöljyn joukossa olevista epäpuhtauksista.

Hodgesin mukaan toimintahäiriöt ja hydraulijärjestelmän kuluminen voidaan vastaavasti lähes kokonaan välttää kun järjestelmässä käytetty hydrauliöljy on oikean tyyppistä ja puhdasta [3].

Tottenin ja Negrin [5] mukaan häiriöherkkyys johtuu nykyaikaisissa hydraulijärjestelmissä käytetyistä pienistä välyksistä ja korkeista paineista. Paineen ja virtausnopeuden kasvu on tehnyt hydraulijärjestelmistä alttiimpia epäpuhtauksien haittavaikutuksille. Vanhat matalapaineiset hydraulijärjestelmät saattoivat toimia hyvin jopa kokonaan ilman suodatusta. [4]

2.1 Epäpuhtaudet

Epäpuhtauksina pidetään kaikkia hydraulijärjestelmässä olevia sen toiminnan kannalta tarpeettomia aineita [6]. Epäpuhtauksien tyypejä ovat Hodgesin [3] mukaan mekaaniset epäpuhtaudet eli hiukkaset ja kemialliset epäpuhtaudet. Myös öljyn joukossa olevaa ilmaa voidaan pitää epäpuhtautena [7].

2.1.1 Hiukkasepäpuhtaudet

Hydraulijärjestelmässä voi olla hiukkasia jo valmistuksesta lähtien, niitä saattaa muodostua sinne käytön aikana tai niitä voi joutua järjestelmään ulkoisesta lähteestä.

Luontaiset epäpuhtaudet joutuvat hydrauliseen järjestelmään jo sen valmistuksen aikana. Tällaiset epäpuhtaudet voivat olla esimerkiksi muottihiekkaa, puhallushiekkaa tai -rakeita, hapettumia, pölyä tai kuitujäämiä puhdistuksessa käytetyistä liinoista. [3,7]

Epäpuhtaudet voivat myös muodostua hydraulijärjestelmän käytön aikana, jolloin niitä kutsutaan käytön aiheuttamiksi epäpuhtauksiksi. Hodgesin [3] mukaan käytön aiheuttamat epäpuhtaudet muodostuvat yleensä kulumisen seurauksena, mutta ne voivat syntyä myös kokoonpanon aikana.

Merkittävimmät hiukkasepäpuhtauksia aiheuttavat kulumistavat ovat Hodgesin [3] mukaan tartuntakuluminen, hankauskuluminen ja pinnan väsyminen. Hydraulioöljyn joukossa oleva kosteus sekä nesteessä jo olevat epäpuhtaudet nopeuttavat uusien epäpuhtauksien syntyä.

Hydraulijärjestelmään sen ulkopuolelta kulkeutuvia epäpuhtauksia kutsutaan ulkoisiksi epäpuhtauksiksi. Niiden lähteenä voivat Hodgesin mukaan [3] olla esimerkiksi järjestelmässä olevat aukot, kuten huohottimet, likaisen hydraulioöljyn lisääminen tai huoltotyöt.

2.1.2 Kemiaalliset epäpuhtaudet

Merkittävin kemiallinen epäpuhtaus on vesi [3]. Kemialliset epäpuhtaudet voivat kuitenkin Hodgesin mukaan [3] olla myös hydraulioöljyn hajoamistuotteita, hydraulijärjestelmän osien valmistuksessa käytettyjä leikkuunesteitä tai erilaisia hydraulioöljyn joukossa olevia lisäaineita.

Hydraulijärjestelmään saattaa ajan mittaan kerääntyä merkittäviä määriä vettä. Vesi tiivistyy hydraulioöljysäiliössä olevan ilman kosteudesta. Koska hydraulioöljyn määrä säiliössä vaihtelee, on sen oltava huohottimen kautta yhteydessä ulkoilmaan painevaihteluiden tasaamiseksi. Säiliössä olevan öljyn pinnan korkeuden vaihdeltaessa myös säiliössä oleva ilma vaihtuu ja lisää kosteutta pääsee tiivistymään. Sopivissa ilmasto-olosuhteissa säiliöön voi näin kerääntyä suuria määriä vettä. [3] Erityisen alttiina veden tiivistymiselle ovat säiliöt, joiden yläpintaan kohdistuu ilmavirtaus esimerkiksi jäähdytyspuhaltimesta [3].

Hodgesin mukaan vettä voi joutua hydraulijärjestelmään myös vesijäähdytteisten öljynjäähdyttimien vuodoista tai jos järjestelmään täytettävä öljy sisältää vettä jo valmiiksi [3].

Hydraulioöljy hajoaa kemiallisesti koko käyttöikänsä ajan. Aluksi hajoaminen on melko merkityksetöntä. Myöhemmin hajoaminen kuitenkin nopeutuu ja sen negatiivinen vaikutus öljyn ominaisuuksiin kasvaa.

Öljyn ominaisuudet heikkenevät pääasiassa hapettumisen vuoksi. Hapettuessaan öljyn hiilivedyt reagoivat ilmakehän hapen kanssa. Hapettumisen seurauksena muodostuu muun muassa hydroperoksiedeja, alkoholeja ja orgaanisia happoja [3].

Öljyn hapettumisnopeus kasvaa eksponentiaalisesti öljyn lämpötilan noustessa. Siksi öljyn käyttöiän ennenaikaista loppumista voidaan ehkäistä huolehtimalla, että öljyn käyttölämpötila pysyy kohtuullisella tasolla. Hodgesin mukaan hydraulioöljyn turvallinen suurin käyttölämpötila on noin 70 °C, jolloin sen käyttöikä on tavallisesti useita tuhansia tunteja [3].

Öljyn hapettumisen nopeuteen vaikuttavat lämpötilan lisäksi myös muut tekijät. Hapettuminen tapahtuu sitä nopeammin, mitä enemmän ilma on kosketuksissa hydraulioöljyn kanssa. Öljyssä olevat ilmakuplat lisäävät ilman kanssa kosketuksissa olevaa pinta-alaa. Hydraulijärjestelmän komponenteissa käytetyt materiaalit voivat myös toimia katalyyteinä nopeuttaen hapettumisreaktiota. [3]

2.2 Epäpuhtauksien vaikutukset

Epäpuhtaudet vaikuttavat hydraulijärjestelmään pääasiallisesti kahdella tavalla. Ne voivat joko häiritä hydraulijärjestelmän toimintaa suoraan, esimerkiksi jumittamalla venttiilien karoja. Ne voivat myös vaurioittaa hydraulijärjestelmää, mikä vähitellen heikentää hydraulijärjestelmän kuntoa ja lisää toimintahäiriöiden todennäköisyyttä myöhemmin.

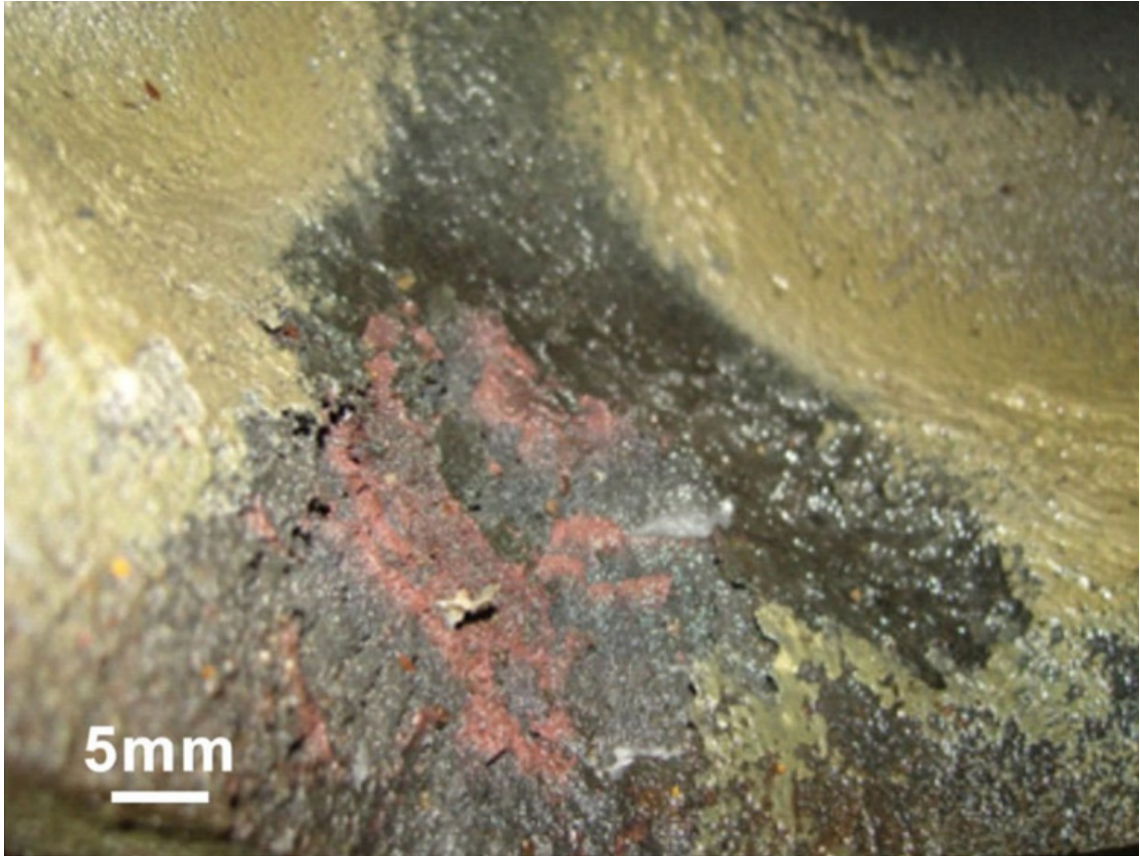
2.2.1 Kemialliset epäpuhtaudet

Vedellä on monia haittavaikutuksia hydraulijärjestelmälle. Se aiheuttaa hydraulijärjestelmän pintojen ruostumista ja muuta korroosiota. Korroosion vaikutuksesta pinnat kuluvat ja niistä vapautuu hiukkasia hydraulioöljyn joukkoon. Kuvassa 2 on esimerkki veden aiheuttamista vaurioista hydraulipumpussa.

Öljy ja siihen sekoittunut vesi on emulsio, jonka viskositeetti poikkeaa puhtaan öljyn viskositeetista erityisesti kylmässä. Kylmässä vesi saattaa myös jäätyä, jolloin se voi jumittaa hydraulijärjestelmän liikkuvia osia. [3]

Emulsiossa vesi on pieninä pisaroina sekoittuneena öljyyn. Öljyssä olevan veden voi yleensä erottaa öljyn ulkonäöstä ennen kuin veden määrä on kohonnut haitallisiin pitoisuuksiin. Vettä sisältävä öljy näyttää samealta tai maitomaiselta. Öljy ei useimmissa käyttökohteissa saisi sisältää vettä enempää kuin 0,1–0,15 %. [3]

Hydraulioöljy on vaihdettava uuteen, kun sen vesipitoisuus on kasvanut liian suureksi. Vesi voidaan myös erottaa öljyn joukosta. Se on kuitenkin yleensä kannattavaa vain suurissa öljymäärissä, eikä siten koske liikkuvia työkoneita.



Kuva 2. Veden aiheuttamia vaurioita hydraulipumpussa [6]

Hapettuminen saattaa aiheuttaa öljyn viskositeetin merkittävää kasvua. Hapettumisen seurauksena öljyyn muodostuneet hapot myös syövyttävät hydraulijärjestelmän komponentteja. Hapettumistuotteet voivat myös olla hartsimaisia ja tarttua järjestelmän osiin.

2.2.2 Hiukkasepäpuhtaudet

Hiukkasepäpuhtaudet vaikuttavat hydraulijärjestelmään ensisijaisesti kahdella tavalla. Ne voivat joko jumittaa järjestelmän osia tai aiheuttaa järjestelmälle mekaanista kulumista.

Hiukkaset aiheuttavat mekaanista kulumista erityisesti sellaisissa hydraulijärjestelmän osissa, joissa esiintyy suuria hydrauliohjain virtausnopeuksia ja virtauksen suunnan muutoksia. Tällaisia osia ovat erityisesti venttiilit. [3]

Hiukkaset kuluttavat myös dynaamisia tiivisteitä. [3] Tiivisteet on yleensä tehty pehmeästä materiaalista, joka on altista kulumiselle alhaisillakin nopeuksilla. Dynaamisia tiivisteitä ovat tiivisteet, joissa tapahtuu liikettä, kuten hydraulisyntereiden männän ja männänvarren tiivisteet, sekä pumppujen ja moottoreiden akselitiivisteet. Niiden kulumisen aiheuttaa öljyn vuotamista joko järjestelmän ulkopuolelle tai hydraulisyntereiden sisäistä vuotoa. Sylinterin sisäinen vuoto johtaa sylinterin valumiseen, mikä voi olla esimerkiksi henkilönostimen tukijalkasynterissä turvallisuusriski.

Korroosion irrottamista hiukkasista saattaa muodostua öljyyn liejua, joka voi aiheuttaa vakavia ongelmia järjestelmän liikkuville osille, kuten venttiileille, pumpuille ja moottoreille [3].

2.3 Epäpuhtauksien ominaisuuksia

Hydraulijärjestelmässä olevat hiukkasepäpuhtaudet voivat olla hyvin erilaisia. Hiukkasen vaikutus järjestelmän toimintaan vaihtelee sen fyysisten ominaisuuksien mukaan. Hiukkanen ei välttämättä aiheuta haittoja lainkaan, mutta se voi myöhemmin muuttua haitalliseksi.

Epäpuhtauksien alkuperän selvittäminen on tärkeää niiden synnyn ehkäisemiseksi. Hiukkasepäpuhtauksien alkuperää voidaan jäljittää hiukkasten fyysisiä ominaisuuksia tutkimalla.

Totten ja Negri listaavat useita ominaisuuksia, jotka liittyvät hiukkasten vaikutukseen hydraulijärjestelmässä, ja joiden avulla niiden alkuperää voidaan jäljittää. Niitä ovat muun muassa koko, pinta-ala, muoto, kovuus, tiheys ja lukumäärä [5].

Koko vaikuttaa merkittävästi hiukkasen kykyyn aiheuttaa ongelmia hydraulijärjestelmään. Haitallisimpia ovat hiukkaset, joiden koko on lähellä järjestelmän liikkuvien osien väljyyksiä. Tällaiset hiukkaset voivat aiheuttaa esimerkiksi venttiilien karojen jumiutumista [5] tai pintojen kulumista ja väsymistä [5].

Suuret hiukkaset eivät välttämättä aiheuta ongelmia hydraulijärjestelmän toiminnalle. Ne voivat kuitenkin hajota jopa sadoiksi pienemmiksi hiukkasiksi, jotka voivat aiheuttaa viikoja. Suuret hiukkaset on lisäksi helpompi poistaa suodattamalla, joten niiden vähentäminen tulisi pitää etusijalla. [5]

Pinta-ala vaikuttaa hiukkasen vuorovaikutukseen hydrauliöljyn kanssa. Suurempi pinta-ala lisää muun muassa hiukkasen häiritsevää vaikutusta öljyn lisäaineille ja vaikeuttaa ilman erottamista öljystä. [5]

Suuri pinta-ala suhteessa massaansa hidastaa hiukkasen liikkeitä öljyssä. Tällöin hiukkasella kestää pitempään asettua aloilleen, jolloin myös sen haitalliset vaikutukset öljylle kestävät kauemmin. [5] Painavat hiukkaset painuvat nopeammin esimerkiksi säiliöiden pohjalle, eivätkä enää kierrä öljyn mukana [5].

Hiukkasen pintoja kuluttava vaikutus riippuu merkittävästi sen muodosta. Pyöreämuotoisten hiukkasten vaikutus on yleensä pientä. Kulmikkaat hiukkaset sen sijaan ovat kuluttavampia ja irrottavat materiaalia hydraulijärjestelmän pinnoista. Kulmikkaat hiukkaset syntyvät isompien hiukkasten murskaantuessa pienemmiksi. [5] Hamblinin ja

Stachowiakin mukaan kuluttava vaikutus on sitä voimakkaampi mitä kulmikkaampi hiukkanen on. [8]

Kovemmat hiukkaset kuluttavat pintoja enemmän. Kulumista tapahtuu pääasiassa vain hiukkasen ollessa kuluva pinta kovempi. Tottenin ja Negrin mukaan tavallinen lika koostuu enimmäkseen piidioksidi- ja alumiinioksidihiukkasista, jotka ovat kovempia kuin mikään metallipinta hydraulijärjestelmässä [5]. Taulukossa 1 on esimerkkejä erilaisten hiukkasten kovuudesta Mohsin asteikolla. Mohsin asteikolla talkin kovuus on 1 ja timantin kovuus 10. [9]

Hydraulijärjestelmän metallipinnoista irronneet hiukkaset ovat verrattain pehmeitä eivätkä ole kovin kuluttavia. Ne voivat kuitenkin reagoida kemiallisesti öljyn kanssa pilaten sen ominaisuuksia. [5]

Taulukko 1. *Erialaisten hiukkasten kovuuksia*

Hiukkasen materiaali	Kovuus Mohsin asteikolla
Metallilastut	3–7
Hioma-aineet	7–9
Lattiapöly	2–8
Tiepöly	2–8
Ruoste	5–6
Työkaluteräs	6–7
Valurauta	3–5
Tavallinen teräs	3

Metallihiukkaset ovat usein magneettisia. Siitä on sekä hyötyä että haittaa. Magneettisia hiukkasia voidaan kerätä magneettien avulla ja mitata niiden määrää sopivilla antureilla. Magnetoituneet hiukkaset voivat kuitenkin takertua hydraulijärjestelmän osiin ja vaikuttaa sen toimintaan. Myös solenoidiventtiilien magneettikentät voivat vaikuttaa magneettisiin hiukkasiin. [5]

Tottenin ja Negrin mukaan hiukkasten vaikutus hydraulijärjestelmään kasvaa hiukkasten lukumäärän suhteessa [5]. Kuluttaessaan järjestelmän pintoja hiukkaset muodostavat lisää hiukkasia. Tästä syystä hiukkasten poistaminen öljyn joukosta on tärkeää, koska muuten niiden määrä alkaisi kasvaa kiihtyvällä tahdilla.

2.4 Epäpuhtauksien määrä

Hydraulijärjestelmien suunnittelemisen helpottamiseksi on kehitetty useita menetelmiä hydraulioilyssä olevien epäpuhtauksien määrän ilmoittamiseksi. Vakioitujen merkintöjen avulla komponenttivalmistajat voivat ilmoittaa tuotteidensa luotettavan toiminnan vaatiman puhtaustason.

2.4.1 CETOP RP70

Eurooppalainen fluiditeknikkakomitea CETOP (ransk. Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques) on laatinut järjestelmän CETOP RP70 öljynäytteessä olevien hiukkasten lukumäärän ilmaisemiseen. Hiukkasten lukumäärän ja koon lisäksi se ei ota kantaa muihin asioihin, kuten niiden muotoon tai mittauksen suoritustapaan. Järjestelmä perustuu hiukkasten määrään 100 millilitran näytteessä. [4]

Useimmiten CETOP RP70 – merkintään kuuluu kaksi lukuarvoa, jotka on erotettu toisistaan vinoviivalla. Ensimmäinen arvo ilmaisee kaikkien yli 5 mikrometrin kokoisten hiukkasten lukumäärän näytteessä. Toinen arvo taas koskee yli 15 µm kokoisia hiukkasia. Erikoistapauksissa voidaan käyttää myös muun tyyppisiä merkintöjä. [4]

Luvut eivät suoraan kerro hiukkasten määrää. Sen sijaan on määriteltä erilaisia vaihteluvälejä, jotka on numeroitu. Vaihteluvälit ja niitä vastaavat merkinnät ovat taulukossa 2. Esimerkiksi merkintä 12/8 tarkoittaa siis, että 100 ml näyte sisältää 2 000–4 000 kappaletta yli 5 µm hiukkasia ja 130–250 kpl. yli 15 µm hiukkasia.

Taulukko 2. *Öljyn puhtausmerkinnät CETOP RP70 –järjestelmässä [4].*

RP70-merkintä	Hiukkasten lukumäärä 100 ml näytteessä
1	1–2
2	2–4
3	4–8
4	8–16
5	16–32
6	32–64
7	64–130
8	130–250
9	250–500
10	500–1 000
11	1 000–2 000
12	2 000–4 000
13	4 000–8 000
14	8 000–16 000
15	16 000–32 000
16	32 000–64 000
17	64 000–130 000
18	130 000–250 000
19	250 000–500 000
20	500 000–1 000 000
21	1 000 000–2 000 000
22	2 000 000–4 000 000
23	4 000 000–8 000 000
24	8 000 000–16 000 000

2.4.2 ISO 4406

Kanainvälinen standardisoimisjärjestö ISO:n (engl. International Organization for Standardization) laatima ISO 4406 on kansainvälinen standardi hydraulioöljyjen hiukasepäpuhtauksien merkintätavasta. Merkintä koostuu kolmesta vinoviivoin erotetusta lukuarvosta, jotka kuvaavat yli 4 µm, yli 6 µm ja yli 14 µm hiukkasten lukumäärää

näytteessä. Hiukkasten lukumäärän jaottelu ryhmiin ja ryhmien numerointi ovat samat kuin CETOP RP70-merkinnässäkin. [10]

ISO 4406 on nykyisin yleisimmin käytetty standardi hydraulioöljyn puhtauden merkinnästä. Komponenttien valmistajat kuitenkin voivat kertoa tuotteidensa vaatiman öljyn puhtaustason myös muita standardeja käyttäen. Standardin BS 5540/4 mukaiset öljyn puhtausmerkinnät ovat vastaavia kuin ISO 4406 -merkinnät.

2.4.3 NAS 1638

NAS 1638 on amerikkalaisessa lentokone- ja avaruusteollisuudessa kehitetty hydraulioöljyn puhtausstandardi. Se on poistumassa käytöstä. [11] Standardin NAS 1638 mukainen öljyn puhtauden luokitus on yksi luku väliltä 00–12. Kullekin luokalle on määritelty suurin sallittu lukumäärä 5–15 µm, 15–25 µm, 25–50 µm, 50–100 µm ja yli 100 µm hiukkasia 100 ml näytteessä. Puhtausluokat ja niille määrätyt suurimmat sallitut hiukkasmäärät on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. *Öljyn puhtausmerkinnät NAS 1638 -järjestelmässä [10]*

NAS-luokka	Hiukkasten suurin sallittu lukumäärä 100 ml näytteessä kokoluokittain				
	5–15 µm	15–25 µm	25–50 µm	50–100 µm	>100 µm
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1 425	253	45	8
6	16 000	2 850	506	90	16
7	32 000	5 700	1 012	180	32
8	64 000	11 400	2 025	360	64
9	128 000	22 800	4 050	720	128
10	256 000	45 600	8 100	1 440	526
11	512 000	91 000	16 200	2 880	512
12	1 024 000	182 400	32 400	5 760	1 024

2.4.4 SAE

Autoalan yhteistyöjärjestö SAE Internationalilla (engl. Society of Automotive Engineers) oli 1980-luvun alkuun asti oma hydraulioöljyn puhtausstandardinsa. Järjestelmässä oli puutteita, ja nykyään käytettävät menetelmät perustuvat standardiin ISO 4406. [11]

2.4.5 Muunnokset merkintäjärjestelmien välillä

Samassa hydraulijärjestelmässä on usein komponentteja, joille vaadittu hydraulioöljyn puhtaus on ilmoitettu eri merkintätapoja käyttäen. Puhtausvaatimusten muunnos eri merkintäjärjestelmien välillä on siten tarpeellista koko järjestelmälle vaadittavan puhtaustason määrittelemiseksi.

Koska eri standardit määrittelevät puhtauden eri tavoin, voidaan muunnoksia merkintäjärjestelmien välillä pitää vain suuntaa antavina. Varmasti komponentille riittävän puhtauden saavuttamiseksi on käytettävä kunkin komponentin valmistajan ilmoittamaa standardia. Taulukossa 4 on ote Parker Hannifinin muunnostaulukosta eri merkintäjärjestelmien välillä.

Taulukko 4. Standardin ISO 4406 mukaisten merkintöjen vastaavuus [10]

ISO 4406	NAS 1638	SAE
13/11/8	2	-
14/12/9	3	0
15/13/10	4	1
16/14/11	5	2
17/15/12	6	3
18/16/13	7	4
19/17/14	8	5
20/18/15	9	6
21/19/16	10	-
22/20/17	11	-
23/21/18	12	-

2.5 Öljyn puhtauden määrittäminen

Hydrauliöljyn puhtaus määritetään ottamalla öljystä näyte ja analysoimalla se. Mittauksia voidaan tehdä säännöllisesti, jolloin voidaan havaita öljyn puhtauden muutokset ja kehityssuunnat.

Yksinkertaisin menetelmä öljyn kunnan ja puhtauden määrittämiseen on silmämääräinen tarkastelu. Menetelmä ei ole tarkka, mutta se on edullinen ja nopea suorittaa usein, ja sillä voidaan havaita öljyn laadun nopea heikkeneminen. [3]

2.5.1 Näytteenotto

Tottenin ja Negrin mukaan näytteenotto on öljyanalyysin kriittisimpiä vaiheita [5]. Näytteen on oltava edustava otos analysoitavasta öljystä. Näytteen on oltava tasalaatuinen ja sen täytyy sisältää kaikkia analysoitavassa öljyssä olevia epäpuhtauksia järjestelmän koko öljymäärää vastaavina pitoisuuksina. Toisaalta näyte ei saa saastua mittaustulosta vääristävillä ulkoisilla epäpuhtauksilla. Oikeat ja vakiodut toimintatavat näytettä ottaessa ja puhtaat näyteasiat ovat tärkeitä edustavan näytteen saamiseksi.

Näytteenottopaikan valinnalla on suuri vaikutus näytteenoton onnistumiseen. Totten ja Negri antavat seuraavat ohjeet parhaan näytteenottopaikan valinnalle [5]:

- Mittauksen tulisi tapahtua paikasta, jossa öljyvirtaus on turbulenttista. Turbulenttinen virtaus lisää öljyssä olevien epäpuhtauksien todennäköisyyttä tulla mukaan näytteeseen. On havaittu, että rauhallisemman virtauksen kohdista otetuissa näytteissä on vähemmän hiukkasia.

- Mittauksen tulisi tapahtua mahdollisesti epäpuhtauksia tuottavien komponenttien jälkeen. Parhaat tulokset saadaan ottamalla näyte paluulinjasta.
- Näytteet tulisi ottaa ennen suodattimia tai muita komponentteja, jotka poistavat epäpuhtauksia öljystä.

Näytteen ottaminen on helpointa paineistetusta linjasta. Näytteenotto voidaan tehdä tarkoitusta varten asennetusta palloventtiilistä tai mittausliittimiin kiinnitettävillä näytteenottovarusteilla. Mittauksen turvallisuudesta on huolehdittava paineenalaisen öljyn vuoksi. Näytteenotto voidaan tehdä myös näytteenottopumpulla, mikäli sopivassa paineessa olevaa öljyä ei ole saatavilla. Näytteenottopumpun avulla näyte voidaan ottaa myös öljysäiliöstä.

Otettavan näytteen on oltava riittävän suuri useiden analyysien tekemiseen. Näytteen pitää riittää analyysin toistamiseen ja mahdollisiin ylimääräisiin testeihin. Näyte voi myös olla tarpeen säilöä myöhempää käyttöä varten.



Kuva 3. Näytteenottopumppu ja näytepulloja [12]

2.5.2 Näytteen analysointi

Hodgesin mukaan näytteistä analysoidaan tavallisesti viskositeetti, happamuus ja kosteus. Lisäksi tehdään silmämääräinen tarkastus. [3] Parempiin tuloksiin päästään tarkemmilla epäpuhtauden mittausmenetelmillä, joista yleisin on hiukkasten laskenta.

Hiukkasten laskenta tapahtuu johtamalla pieni näyte kalvosuodattimen läpi. Näytteessä olevat hiukkaset jäävät kalvoon, josta ne voidaan laskea mikroskoopilla. Samalla

määritetään hiukkasten koko. Hiukkasten laskennan tuloksena saadaan näytteessä olleiden hiukkasten määrä kokoluokittain määrättyä tilavuutta kohden. Hiukkasten laskennan tulos voidaan myös ilmoittaa jotain kappaleessa 2.4 esiteltyä standardoitua merkin-tätapaa käyttäen. [5]

Käsityönä mikroskoopilla tehtävän hiukkasten laskennan tilalle on kehitetty useita auto-maattisia menetelmiä. Tottenin ja Negrin mukaan eri laskentamenetelmät antavat erilai-sia tuloksia. Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi kaikissa analyyseissä tulisi käyttää samaa laskentamenetelmää. [5]

Muilla analyysimenetelmillä voidaan selvittää havaittujen epäpuhtauksien alkuperää. Ku-luminen tuottaa hydraulioöljyyn usein suuria rautapitoisia hiukkasia, jotka voidaan havaita omalla testillään. Spektroskopiolla voidaan selvittää näytteen sisältämien pienten hiuk-kasten alkuainekoostumus. Spektroskopia ja rautapitoisten hiukkasten laskeminen toi-mivat hyvin yhteen eri kokoisten hiukkasten alkuperän selvittämisessä. [5]

Aiemmillä testeillä löydettyjä hiukkasia voidaan tutkia lisää muun muassa optista tai elektronimikroskooppia käyttäen. Tottenin ja Negrin mukaan tutkimuksilla voidaan selvit-tää muun muassa mistä epäpuhtaudet ovat peräisin ja mikä ne on tuottanut. [5]

2.6 Hydraulioöljyn suodatus

Suodatus on tärkeää nykyaikaisen hydraulijärjestelmän luotettavalle toiminnalle [4]. Chapplen mukaan hydraulioöljyn suodatustaso on valittava pienimmän järjestelmässä esiintyvän välyksen mukaan [13].

2.6.1 Suodattimet

Suodatin on laite, joka erottelee aineen eri olomuotoja toisistaan käyttämällä hyväkseen olomuotojen fyysisiä eroja. Tavallisimmin kyse on kiinteän aineen erottelusta nesteen tai kaasun joukosta. [4]

Hydraulioöljyn suodattimet jaetaan painetasonsa mukaan korkeapaineisiin, keskipainei-siin ja matalapaineisiin suodattimiin. Matalapaineiset suodattimet ovat yleisiä tankkiin palaavan öljyvirtauksen suodattamisessa. Niitä käytetään sekä teollisuudessa että liik-kuvissa työkoneissa. [4]

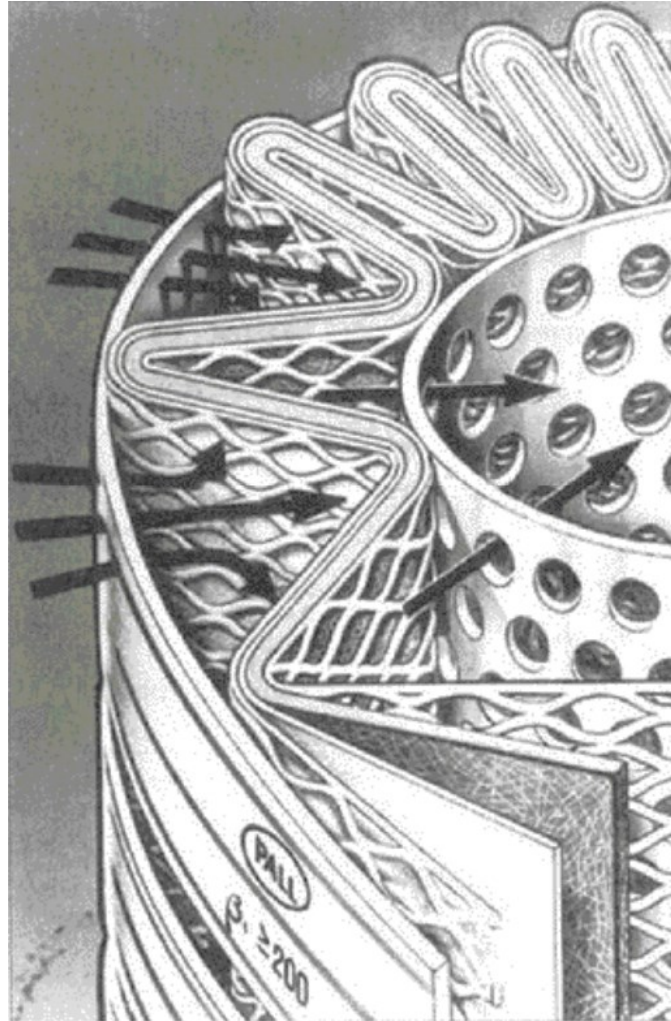
Hydraulioöljyn suodattamiseen käytettävät suodattimet ovat yleensä panostyyppisiä. Täl-laisessa suodattimessa on paineenalainen kotelo, jonka sisällä on vaihdettava suodati-nelementti. [4] Kotelo voi myös olla kiinteä osa suodatinelementtiä, jolloin ne vaihtuvat aina yhdessä uuteen. Tämä on tavallista teollisuuden ja liikkuvien työkoneiden hydraul-i-järjestelmissä. [4]

Varsinkin teollisuuden hydraulijärjestelmissä suodattimet on usein asennettu pareittain. Tällöin öljyvirtaus voidaan ohjata vain yhteen suodattimeen kerrallaan ja suodatinpanokset voidaan vaihtaa järjestelmän käyttöä keskeyttämättä. [4] Suodatin voidaan myös jättää pois hydraulijärjestelmästä. Tällöin öljy suodatetaan erillisellä siirrettävällä suodattimella, joka kytketään hydraulijärjestelmään suodatusta varten. Suodatuslaitteessa on pumppu, joka siirtää öljyä suodatuksen aikana ja mahdollisesti useampia suodattimia. [4]

Suodattimien suodatusmateriaali on yleensä kuitumaista ainetta, kuten laskostettua paperia [4] tai lasikuitua [13]. Sen molemmilla puolilla on tukirakenne, jotta suodatinmateriaali kestäisi siihen kohdistuvan rasituksen. Hydrauliöljynsuodattimen rakenne on esitetty kuvassa 4. Hydrauliöljy saapuu suodatinelementin ulkopuolelle ja virtaa suodatinmateriaalin läpi. Suodatinpanoksen keskellä on kanava, jota pitkin öljy siirtyy suodattimen runkoon ja edelleen eteenpäin hydraulijärjestelmässä.

Suodattimen läpi virtaavassa öljyssä olevat epäpuhtaudet tarttuvat suodatinmateriaaliin. Epäpuhtaudet tukkivat vähitellen suodatinmateriaalin ja paine-ero suodattimen yli kasvaa. Siksi suodattimessa on myös ohivirtausventtiili, joka avautuu paine-eron kasvaessa liian suureksi. [13]

Chapplen mukaan suodattimien toimintaa ei voi nähdä, koska niiden hydrauliöljystä poistamat hiukkaset ovat hyvin pieniä [13]. Sen vuoksi öljyn puhtaus voidaan varmistaa vain tutkimalla öljyn laatua tai vaihtamalla suodatinpanokset uusiin säännöllisin väliajoin.



Kuva 4. Hydraulioiljynsuodattimen rakenne [4]

2.6.2 Suodattimen suorituskyky

Suodattimen suorituskyky ilmaistaan beeta-arvolla. Se on määritelty tietyn kokoisten hiukkasten lukumäärien suhteena öljyssä ennen ja jälkeen suodattimen. Beeta-arvo lasketaan kaavalla

$$\beta_x = \frac{N_u}{N_d}$$

jossa β_x on beeta-arvo $x \mu\text{m}$ suuremmille hiukkasille, N_u on $x \mu\text{m}$ suurempien hiukkasten lukumäärä öljyssä ennen suodatinta ja N_d on $x \mu\text{m}$ suurempien hiukkasten lukumäärä öljyssä suodattimen jälkeen. [4]

Beeta-arvo siis ilmaisee, montako kertaa enemmän määrätyn kokoisia hiukkasia on öljyssä ennen suodatinta kuin sen jälkeen. Suurempi beeta-arvo merkitsee tehokkaampaa suodatusta.

Suodattimen suorituskyky voidaan ilmaista myös hyötysuhteena, joka kertoo kuinka suuri osa määrätyn kokoisista öljyssä olevista hiukkasista jää suodattimeen. Jos suodattimen hyötysuhde on esimerkiksi 99,9 %, vastaa se beeta-arvoa 1000.

2.6.3 Suodattimen vikaantuminen

Sutherlandin mukaan suodattimet hajoavat joko puhkeamalla tai tukkeutumalla. Liian kauan käytössä ollut suodatin vikaantuu jommallakummalla näistä tavoista. [4] Kummasakin tapauksessa suodatin lakkaa puhdistamasta öljyä ja epäpuhtaudet pääsevät virtaamaan suodattimen läpi tai ohi.

Suodattimen läpäisykyky heikkenee sen kerätessä epäpuhtauksia öljystä. Läpäisykyvyn heiketessä paine-ero suodattimen yli kasvaa, ja lopulta ohivirtausventtiili avautuu ja päästää öljyvirtauksen suodattimen ohi. Paine-eroa voidaan valvoa, jolloin ohivirtausventtiilin lähestyvistä avautumisesta saadaan ennakkovaroitus [13]. Aluksi virtaus kulkee sekä ohivirtausventtiilin että suodattimen läpi. Suodattimen tukkeutumisasteen lisääntyessä virtaus siirtyy vähitellen kokonaan ohivirtausventtiilin kautta tapahtuvaksi. [4]

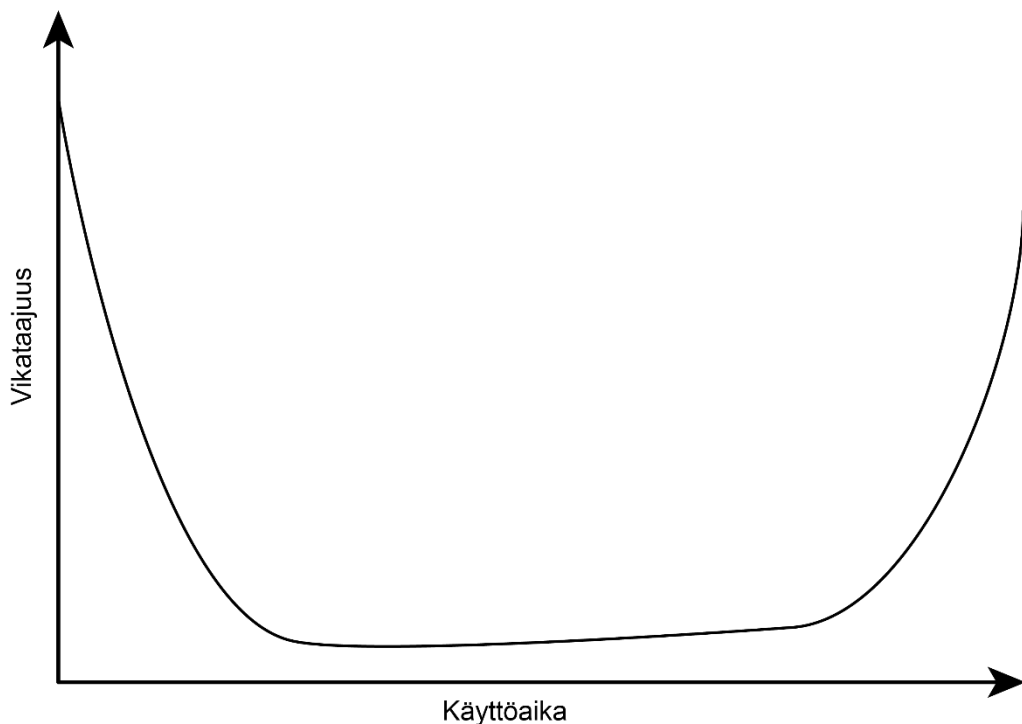
Joissain tapauksissa epäpuhtauksien ei haluta pääsevän suodattimen ohi missään tilanteessa. Tällöin suodattimessa ei ole ohivirtausventtiiliä lainkaan. Tällaisen suodattimen tukkeutuminen johtaa lopulta sen puhkeamiseen.

3. UUDEN KONEEN PUHTAUS

Koska hydraulijärjestelmässä olevat hiukkaset muodostavat uusia hiukkasia, on erityisen tärkeää, että uudet hydraulijärjestelmät ovat mahdollisimman puhtaita, kun ne otetaan käyttöön. Hydraulijärjestelmässä olevien luontaisten epäpuhtauksien irtoaminen koneen ensimmäisten käyttötuntien aikana voi johtaa järjestelmän toimintahäiriöihin. [14]

On havaittu, että koneiden ja muiden teknisten laitteiden vikataajuus noudattaa niin sanottua ammekäyrää, joka on esitetty kuvassa 5. Uusissa koneissa esiintyy paljon vikoja ensimmäisten käyttötuntien aikana. Vikataajuus kuitenkin laskee nopeasti ja suurimman osan koneen käyttöiästä vikataajuus on alhainen ja lähes vakio. Käyttöiän lähestyessä loppuaan vikataajuus kuitenkin lähtee taas nousuun.

Ensimmäisinä käyttötunteina ilmenevät viat johtuvat valmistuksessa tehdyistä virheistä. Näiden vikojen korjaamisen jälkeen viat ovat enimmäkseen satunnaisia tai voivat johtua koneen hetkellisestä ylikuormittumisesta. Lopulta koneen osien kuluminen ja muunlainen heikkeneminen johtaa vikataajuuden kasvuun vanhoissa koneissa. [15]



Kuva 5. Vikataajuuden ja koneen käyttöajan suhde

Hydraulijärjestelmissä alkuvaiheen ongelmat johtuvat usein yksittäisistä suurista hiukkasista. Myöhemmin vikaantumista aiheuttaa suuri määrä pieniä hiukkasia. [16]

Käyttöön otettavan hydraulijärjestelmän puhtaudesta huolehtimalla voidaan siis vähentää vikoja sekä koneen käyttöiän alussa että lopussa, koska järjestelmässä olevilla suurilla hiukkasilla on taipumus tuottaa pienempiä hiukkasia.

Michaelin ja Blazelin mukaan yleisesti käytetty menetelmä epäpuhtauksien torjumiseksi valmistusprosessin aikana on asettaa tavoitetaso komponenttien puhtaudelle ja varmistaa että komponentit ovat tavoitteen mukaisia. Lopuksi valmis hydraulijärjestelmä tulisi huuhdella. [1]

3.1 Standardit puhtaudelle valmistuksen aikana

Valmistusenaikaisesta puhtaudesta on useita standardeja. Niitä ovat laatineet useat eri tahot, kuten erilaiset järjestöt, mutta myös yritykset sisäiseen käyttöön.

Kansainvälisellä standardisoimisjärjestöllä ISO:lla on oma tekninen komitea epäpuhtauksien hallintaa varten. ISO on julkaissut standardit, jotka opastavat komponenttien puhtauden kehittämisessä ja valmiin hydraulijärjestelmän puhdistamisessa.

Standardi ISO/TR 10949 käsittelee komponenttien puhtautta valmistuksen ja kokoonpanon aikana ja niiden välillä. Se sisältää yksityiskohtaisia ohjeita muun muassa komponenttien puhdistuksesta ja niiden suojauksesta varastoinnin aikana.

Standardi ISO/TS 16431 antaa ohjeet hydraulijärjestelmässä olevan öljyn puhtauden mittaukseen, hydraulijärjestelmän puhtauden tarkistamiseen ja järjestelmän puhdistamiseen halutulle puhtaustasolle.

Saksan autoteollisuuden yhdistys VDA (saks. Verband der Automobilindustrie) on julkaissut standardin VDA 19.2, joka käsittelee teknistä puhtautta kokoonpanossa. Se ohjeistaa muun muassa oikeissa työtavoissa, suojavaatetuksessa, tuotantotilojen rakenteissa ja muissa tekniseen puhtauteen vaikuttavissa asioissa. [16]

3.2 Puhtaustavoite

Puhtaustavoite on asetettava sekä järjestelmässä olevalle öljylle, että järjestelmässä käytettäville komponenteille.

Puhtaustavoitteet on asetettava koneen hydraulijärjestelmän vaatimusten mukaisesti. Muun muassa järjestelmän käyttöpaine ja järjestelmässä käytetyt komponentit vaikuttavat sen alttiuteen epäpuhtauksien aiheuttamille häiriöille. Tarpeettoman korkea puhtaustavoite aiheuttaa kustannuksia tuottamatta kuitenkaan merkittäviä hyötyjä. [1]

3.2.1 Hydraulijärjestelmän puhtaustavoite

Michael ja Blazel ehdottavat taulukon 5 mukaisia hydraulijärjestelmän puhtaustavoitteita järjestelmän käyttöpaineen ja epäpuhtausherkkyyden mukaan.

Hydraulijärjestelmän komponenttien teknisissä tiedoissa on yleensä kerrottu puhtaustavoite järjestelmälle, johon komponentti on asennettu. Järjestelmälle asetettavan puhtaustavoitteen tulisi olla vähintään yhtä korkea kuin korkein järjestelmän komponenttien puhtaustavoitteista.

Taulukko 5. Ohjeelliset puhtaustavoitteet [1]

Käyttöpaine (MPa)	Herkyys epäpuhtauksista johtuville häiriöille	
	Suuri	Keskitaso
≤ 16	17/15/12	19/17/14
> 16	16/14/11	18/16/13

3.2.2 Komponenttien puhtaustavoite

Rajoja komponenteissa oleville epäpuhtauksille ei pidä määrittellä hydraulijärjestelmille tarkoitettuja järjestelmiä käyttäen. Muun muassa ISO 4406 on tarkoitettu vain hydraulijärjestelmässä olevien epäpuhtauksien määrän ilmaisemiseen. [1]

Epäpuhtauksien sallittu määrä ilmoitetaan yleensä massana. Lisäksi ilmoitetaan hiukasten suurin sallittu koko. [1] Komponentin luonteesta riippuen epäpuhtauksien massa suhteutetaan joko komponentin tilavuuteen tai öljyn kanssa kosketuksissa olevaan pinta-alaan. Arvioinnissa käytetään apuna komponentin tilavuuden ja pinta-alan suhdetta. [1]

Joidenkin komponenttien tilavuus on suuri suhteessa pinta-alaan. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi säiliöt. Tällöin epäpuhtauksien määrä suhteutetaan yleensä tilavuuteen ja yksikkönä käytetään milligrammaa litrassa. [1] Esimerkiksi pumppujen ja venttiilien tilavuus suhteessa pinta-alaan on hyvin pieni. Tällaisten osien suurin sallittu epäpuhtauksien määrä suhteutetaan joko komponentin hydraulijärjestelmän kanssa kosketuksissa olevaan pinta-alaan tai komponentin massaan.

3.2.3 Komponenttien puhtauden ilmoittaminen

Kansainvälinen standardi ISO 16232 on kehitetty ajoneuvojen nestejärjestelmien komponenttien puhtauden ilmoittamiseen. Standardia voi soveltaa myös hydraulijärjestelmien komponentteihin. ISO 16232 perustuu aiempaan VDA:n julkaisemaan VDA 19 -standardiin. Autoteollisuusyrityksillä on myös omia sisäisiä standardejaan komponenttien puhtaudesta. [17]

ISO 16232 määrittelee joukon menetelmiä komponenteissa olevien epäpuhtauksien mittaamiseen ja tulosten analysointiin. Jos standardia käytetään komponentin

puhtaustavoitteen ilmoittamiseen, on raja-arvojen lisäksi ilmoitettava myös käytettävät mittausmenetelmät. Standardi määrittelee useita vaihtoehtoisia mittausmenetelmiä. [18]

3.3 Epäpuhtauksien synty ja päätyminen hydraulijärjestelmään

Monet hydraulijärjestelmien komponenttien valmistusvaiheet tuottavat epäpuhtauksia. Myöskään järjestelmään lisättävä uusi öljy ei yleensä ole puhdasta. Valtaosa hydraulijärjestelmään valmistuksen aikana päätyvistä epäpuhtauksista on lian ja koneistuksessa syntyneiden lastujen kaltaisia irtonaisia hiukkasia [14].

3.3.1 Suunnittelu

Schulzin mukaan komponentin puhtauden varmistaminen alkaa suunnitteluvaiheesta. Komponentit tulisi suunnitella siten, että niissä on mahdollisimman vähän epäpuhtauksia sitovia muotoja. Komponentin suunnittelulla voidaan myös vaikuttaa valmistusprosessin vaiheisiin ja komponentin pintakäsittelyyn. Suunnittelun vaikutus komponenttien puhtautteen kuitenkin jätetään usein huomiotta. [19]

3.3.2 Valmistus

Suurin osa hydraulijärjestelmän osista valmistetaan metallista. Kaikissa tavallisimmissa metalliosien valmistukseen käytetyissä menetelmissä syntyy hiukkasepäpuhtauksia. Tällaisia valmistusmenetelmiä ovat muun muassa valaminen, takominen, hitsaus, lastuava työstö ja pintakäsittely.

Rautametalleja valetaan tavallisimmin hiekasta tehtyihin muotteihin. Valoksiin jää muottihiekkajäämiä, jotka poistetaan pian valamisen jälkeen. Jäämien poistamiseen käytetyjä menetelmiä ovat muun muassa rummutus, raepuhallus tai teräsharjaus. [20] Valoksiin kuitenkin jää muottihiekkajäämiä puhdistuksesta huolimatta.

Valamisessa, takomisessa ja hitsauksessa syntyy hekuhilsettä. Suurin osa valoksissa olevasta hekuhilseestä poistuu samoilla menetelmillä kuin muottihiekkakin. Muun muassa hydraulioöljysäiliöiden ja hydraulisynterierien valmistuksessa käytetään hitsaamista. Hitsaaminen tuottaa muun muassa metalliroiskeita ja rautaoksidia.

Kappaleiden lastuava työstäminen ja leikkaaminen tuottavat hiukkasia. Metalliosien koneistuksessa syntyy muun muassa lastuja ja jäysteitä. Letkujen määrämittaen katkaiseminen tuottaa pieniä kumi- ja metallihiukkasia. [1]

Schulzin mukaan komponenttien puhdistus on järkevää myös valmistusprosessin vaiheiden välissä. Varsinkin koneistuksessa käytetyt leikkuunesteet voivat muiden

epäpuhtauksien kanssa sekoittuen kertyä ja kuivua komponentteihin muodostaen vaikeasti irtoavia jäämiä. [19]

Schulz toteaa myös, että metallilastujen kerääntymiseen voidaan vaikuttaa leikkuutyökalujen kunnosta huolehtimisella ja sopivilla koneistuksessa käytettävillä työstöarvoilla. Leikkuunestettä suodattamalla voidaan vähentää sen mukana komponenttiin tulevien epäpuhtauksien määrää. Suodatettua leikkuunestettä voidaan myös käyttää leikkuutyökalujen huuhteluun. [19]

3.3.3 Kokoonpano

Kokoonpanotilojen tulee olla riittävän puhtaita, koska niissä käsitellään puhdistettuja komponentteja. Tilojen puhtautta voidaan säädellä erilaisilla toimenpiteillä. Kevyimmillään toimenpiteet voivat olla esimerkiksi läpikulkuliikenteen rajoittamista ja tilojen fyysistä erottelua. Toisessa ääripäässä ovat puhdistilat suodatuslaitteistoinen ja ilmalukkoineen. [16]

3.3.4 Hydrauliöljy

Downsin mukaan uusi hydrauliöljy on yleensä monta kertaa likaisempaa kuin hydraulijärjestelmälle tavoiteltu puhtaustaso [21]. Hydrauliöljy on alttiina epäpuhtauksille monissa vaiheissa valmistusprosessinsa aikana.

Oikeilla toimintatavoilla voidaan vähentää öljyn saastumista sen varastoinnin ja käsittelyn aikana. Epäpuhtauksia saattaa joutua suljetunkin astian sisälle lämpötilan vaihdeltaessa. Hydrauliöljyastioita olisikin siksi hyvä säilyttää suojaisessa ja tasalämpöisessä tilassa. Astiat on suljettava heti käytön jälkeen. [22]

Tynnyrit on paras säilyttää vaakatasossa, ja suojaamattomassa ulkosäilytyksessä se on välttämätöntä. Tällöin tynnyrin korkkien on oltava tynnyrin keskilinjan korkeudella (kello 9 ja 3 suuntaan). [3,22]

Olisi paras, jos öljyn sisältämät epäpuhtaudet eivät päätyisi hydraulijärjestelmään lainkaan. Siksi öljyn täyttäminen järjestelmään on ratkaisevaa järjestelmän puhtauden kannalta. [22]

Öljy tulisi suodattaa ennen sen täyttämistä hydraulijärjestelmään. Täyttölaitteiden tulee olla öljykohtaisia ja suodattimella varustettuja. Täyttölaitteen suodattimet on myös vaihdettava ajoissa uusiin. Täytön yhteydessä on huolehdittava puhtaudesta muun muassa puhdistamalla täyttöaukon ympäristö ja sulkemalla se heti täytön loputtua. [22]

Uuden hydrauliöljyn sisältämien epäpuhtauksien vuoksi öljynvaihtoista ensimmäisten 2000 käyttötunnin aikana on yleensä vain haittaa, koska konetta huoltavilla henkilöillä ei

yleensä ole välineitä hydraulijärjestelmään lisättävän öljyn puhdistamiseksi. [1] Öljy tulisi vaihtaa vasta kun sen ominaisuudet ovat heikentyneet liikaa, ja puhtaaksi saatu hydraulijärjestelmä tulisi pitää siihen asti suljettuna.

3.4 Puhdistus

Hydraulijärjestelmään ja sen komponentteihin joutuu väistämättä epäpuhtauksia niiden valmistuksen aikana. Mahdollisimman suuri osa epäpuhtauksista tulisi poistaa järjestelmästä ennen sen käyttöönottoa, koska ne voivat aiheuttaa häiriöitä ennen kuin suodatin ehtii puhdistaa hydraulioiljyn.

Epäpuhtauksien määrää käyttöönotossa voidaan vähentää puhdistamalla komponentteja ennen niiden kokoonpanoa ja puhdistamalla koko hydraulijärjestelmä kokoonpanon jälkeen.

3.4.1 Komponenttien puhdistus

Pohjimmiltaan puhdistaminen on lian poistamista sieltä, missä sen ei haluta olevan ja sen siirtämistä haluttuun paikkaan. Puhdistaminen sisältää seuraavat vaiheet: [23]

1. Peseminen. Lika irrotetaan puhdistettavista komponenteista.
2. Huuhtelu. Lika siirretään pois puhdistettavien komponenttien läheisyydestä ja korvataan puhtaalla puhdistusaineella.
3. Kuivaus. Puhdas puhdistusaine poistetaan komponenttien pinnoilta.
4. Lian hävittäminen. Puhdistusaineeseen sitoutunut lika poistetaan ja puhdistusaine valmistellaan uudelleenkäyttöä varten.

Puhdistusaine on valittava poistettavan lian mukaan. Myös puhdistettavat komponentit ja pesemisessä käytettävä kone asettavat omat vaatimuksensa käytettävälle puhdistusaineelle. Puhdistusaineelta toivottavia ominaisuuksia ovat muun muassa alhainen pintajännitys ja viskositeetti sekä suuri tiheys. [23]

Puhdistusaineet voivat olla joko liuotinpohjaisia tai vesipohjaisia. Vesipohjaisten puhdistusaineiden käyttäminen on yleisempää. Liuotinpohjaisten puhdistusaineiden käyttöä vaikeuttavat niihin liittyvät merkittävät ympäristö- ja turvallisuuskohdat. [23]

Puhdistusaineen kuntoa ja puhtautta on valvottava hyvän puhdistustuloksen varmistamiseksi. Neste huono kunto heikentää sen puhdistustehoa. Eräät puhdistusaineet voivat myös muuttua niihin ajan mittaan kerääntyvien epäpuhtauksien vaikutuksesta syövyttäväksi. [19]

Komponentteja voidaan puhdistaa tarkoitukseen sopivilla osienpesukoneilla. Pesukoneen valintaan vaikuttaa puhdistettavien komponenttien lisäksi käytettävä puhdistusaine. Vesi- tai liuotinpohjaiselle puhdistusaineelle tarkoitettua pesukonetta ei voi käyttää toisenlaisen puhdistusaineen kanssa. [23]

Monet osienpesukoneet on suunniteltu puhdistamaan kappaleiden ulkopintoja. Hydraulijärjestelmän komponenttien täytyy kuitenkin olla puhtaita sisäpuolelta. On siis huolehdittava, että erityisesti komponenttien sisäpuolet puhdistuvat hyvin pesukoneessa. [24]

Puhdistettujen komponenttien likaantuminen uudelleen on estettävä puhdistuksen ja kokoonpanon välisenä aikana. Likaantuminen voidaan välttää suojavälineillä, oikeanlaisella varastoinnilla ja erottamalla valmistustilat tiloista, joissa käsitellään puhdistettuja komponentteja. [16]

3.4.2 Letkujen puhdistus

Letkuissa saattaa olla valmistusprosessin jäljiltä monenlaisia epäpuhtauksia. Tehokkaaksi mutta myös nopeaksi havaittu puhdistustapa on puhaltaa pehmeä tulppa letkun läpi paineilman avulla. Menetelmä on yksinkertainen, mutta sillä saavutettava puhdistustulos on hyvä. Tulpan halkaisijan on oltava noin 20–30 prosenttia letkun sisähalkaisijaa suurempi. Puhdistetun letkun päät on suojattava tulpilla. [25]

3.4.3 Huuhtelu

Uusi hydraulijärjestelmä pitää huuhdella ennen käyttöönottoa. Huuhtelussa järjestelmän läpi pumpataan nestettä suurella nopeudella. Epäpuhtaudet irtoavat ja siirtyvät järjestelmässä virtaavaan huuhtelunesteeseen. Neste johdetaan suodattimeen, johon epäpuhtaudet sitoutuvat.

Huuhtelun aikana järjestelmän venttiilit ja toimilaitteet ohitetaan. [25] Jos venttiilejä ja toimilaitteita ei ohiteta, niihin saattaa kerääntyä huuhtelun järjestelmän eri osista irrottamia hiukkasia. [3]

Huuhteluvirtauksen on oltava mahdollisimman turbulenttinen parhaan puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Virtauksen laatua kuvataan Reynoldsin luvulla. Kun Reynoldsin luku on yli 4000, pidetään virtausta turbulenttisena. [26]

Reynoldsin luku Re on dimensioton parametri virtausmekaniikassa. Se ilmaisee virtauksessa esiintyvän kitkan suhteen virtauksen nopeuteen. [27] Putkivirtauksessa Reynoldsin lukuun vaikuttavat virtauksen nopeus, virtaavan nesteen viskositeetti ja putken hydraulinen halkaisija. [28] Reynoldsin luku on sitä suurempi, mitä suurempi nesteen virtausnopeus on tai mitä pienempi virtaavan nesteen viskositeetti on. [27]

Hydraulics & Pneumatics -lehden mukaan Reynoldsin luvun tulisi olla huuhteluvirtauksessa yli 25 000. Käytännössä tulisi pyrkiä suurimpaan mahdolliseen Reynoldsin lukuun käyttämällä hyvin suurta virtausnopeutta ja alhaista huuhtelunesteen viskositeettia. Turbulenttisen virtauksen nopeus riippuu käytetystä paineesta. Suurin mahdollinen virtauksen nopeus saavutetaan käytettäessä suurinta järjestelmän osille sallittua painetta. [25]

Michaelin ja Blazelin mukaan huuhtelussa käytettävän nesteen tulisi olla kevyttä maaöljyn tislettä, kuten lakkabensiiniä eli mineraalitärpättiä [1]. Se puhdistaa tehokkaasti eikä ruostuta hydraulijärjestelmän osia. Se ei myöskään häiritse epäpuhtauksien määrän mittaamista.

Mineraalitärpätin kinemaattinen viskositeetti on melko alhainen, alle 50 mPa·s. [29] Se soveltuu siis hyvin huuhteluun pyrittäessä suuriin Reynoldsin lukuihin. Mineraalitärpätti on kuitenkin myrkyllistä ja herkästi höyrystyvää sekä syttyvää. Sitä käsiteltäessä on käytettävä muun muassa silmien ja käsien suojaimia. [29]

3.4.4 Hydraulioöljyn puhdistus erillisellä laitteistolla

Hydraulijärjestelmää voidaan puhdistaa myös erillisellä laitteistolla, joka kytketään siihen esimerkiksi koekäytön ajaksi. Puhdistuslaitteisto käsittää pumpun ja suodattimen, sekä tarvittavat hydrauliletkut tai -putket.

Puhdistuslaitteisto kytketään puhdistettavan hydraulijärjestelmän öljysäiliöön. Laitteisto imee säiliöstä öljyä ja palauttaa sen takaisin suodattimen puhdistamana. Hydraulijärjestelmän toimintoja on puhdistuksen aikana käytettävä, jotta öljy vaihtuisi säiliössä ja järjestelmässä olevat epäpuhtaudet siirtyisivät säiliöön. Vähitellen kaikki järjestelmässä oleva öljy tulee puhdistetuksi.

Leen ym. mukaan jo 10 minuutin mittaisella puhdistuksella voidaan saavuttaa useisiin käyttötarkoituksiin riittävä puhtaustaso, kun käytetään suodatinta, jonka suodatuskyky on vähintään $\beta_{10} \geq 10$ [14].

Huonona puolena tässä puhdistustavassa on järjestelmän käyttäminen ennen puhdistuksen valmistumista. Puhdistuksen aikana järjestelmässä liikkuvat epäpuhtaudet voivat ehtiä aiheuttamaan toimintahäiriöitä ennen kuin puhdistuslaitteisto poistaa ne öljystä. Tällä menetelmällä ei myöskään saavuteta järjestelmän normaalia käyttöä suurempia virtausnopeuksia tai turbulenssia kuten huuhtelemalla.

3.5 Komponenttien puhtauden mittaaminen

Komponenttien puhtaustavoitteiden toteutuminen voidaan määrittää mittaamalla komponenteissa olevien epäpuhtauksien määrä. Standardoiduilla mittausmenetelmillä voidaan saavuttaa luotettavat ja vertailukelpoiset tulokset.

Hiukkasten laskeminen ei yleensä ole mahdollista suoraan komponenteista. Siksi epäpuhtaudet pitää ensin erottaa komponenteista ja siirtää nestemäiseen väliaineeseen, joka johdetaan suodattimeen. Lopuksi suodattimeen päätyneet hiukkaset lasketaan mikroskoopilla. Menetelmä on periaatteeltaan samanlainen kuin kohdassa 2.5.2 esitelty menetelmä hydraulijälynäytteessä olevien hiukkasten määrän laskemiseksi. Hiukkasten alkuperää voidaan selvittää samoilla menetelmillä.

Epäpuhtauksien erottamisella mittauksen kohteena olevista komponenteista on suuri vaikutus mittaustuloksen tarkkuuteen. Puutteellinen erottaminen jättää osan epäpuhtauksista komponenttiin ja johtaa siten todellista pienempään mittaustulokseen. Erotuksen pitäisi tapahtua tasalaatuisesti ja sen tulisi irrottaa mahdollisimman suuri osa komponentissa olevista epäpuhtauksista.

Erotukseen käytetään monia menetelmiä. Valittava menetelmä riippuu tutkittavan komponentin ominaisuuksista, kuten sen muodosta, koosta ja komponenttien lukumäärästä.

Yleisin tapa erottaa epäpuhtaudet komponenteista on huuhteleminen paineistetulla nestesuihkulla. Komponentit voidaan huuhdella joko kokonaan tai vain sisältä. Paineistetulla nestesuihkulla voidaan myös käsitellä yhdellä kerralla suuri määrä pieniä komponentteja, kunhan ne ovat yksinkertaisen muotoisia. [17]

Epäpuhtauksia voidaan erottaa komponenteista myös muilla tavoilla kuten paineilmasuihkulla tai ultraäänellä. Näitä menetelmiä ei kuitenkaan yleensä käytetä hydraulijärjestelmien komponenttien puhtauden mittauksessa. [17]

4. TAPAUSTUTKIMUS

Tässä osassa tutkitaan hydraulijärjestelmien puhtautta Dinolift Oy:n näkökulmasta. Ensin tarkastellaan millaisia vaatimuksia Dino-henkilönostinten hydraulijärjestelmät asettavat hydraulioöljyn ja komponenttien puhtaudelle. Sen jälkeen selvitetään miten edellisessä osassa esitellyt toimintatavat puhtaiden hydraulijärjestelmien valmistamiseksi ovat käytössä Dinolift Oy:n tuotannossa.

4.1 Tekniikan vaatima puhtaustaso

Hydraulioöljyn puhtauden kehittämistä ja valvontaa varten öljyn sisältämien epäpuhtauksien määrälle on asetettava tavoite. Tavoitteen tulee olla riittävällä tasolla järjestelmässä käytettyihin komponentteihin suhteutettuna. Tarpeettoman kunnianhimoisesta tavoitteesta ei ole mitään hyötyä, mutta se tuottaa ylimääräisiä kustannuksia.

Dino-henkilönostinten hydraulijärjestelmän vaatima puhtaustaso on keskitasoa. Koneissa käytettävä painetaso on tyypillinen liikkuville työkoneille, korkeintaan noin 21 MPa. Osin käytössä on korkeampiakin painetasoja esimerkiksi itsekulkevien nostinten hydraulisissa ajovoimansiirroissa.

Nostinten hydraulijärjestelmät ovat pääosin melko yksinkertaisia. Tämä koskee varsinkin hinattavia malleja. Itsekulkevien mallien hydraulijärjestelmät ovat ajovoimansiirrossa käytetyn suljetun hydraulipiirin vuoksi jonkin verran monimutkaisempia. Nostinten hydraulijärjestelmät eivät kuitenkaan sisällä servoventtiileiden kaltaisia epäpuhtauksille erityisen herkkiä komponentteja.

Yllä esitettyjen tietojen perusteella taulukon 5 suosittelema sopiva hydraulioöljyn puhtaustaso olisi 18/16/13. Tällöin 100 ml suuruinen öljynäyte saisi sisältää korkeintaan 250 000 yli 4 µm hiukkasta, 64 000 yli 6 µm hiukkasta ja 8 000 yli 14 µm hiukkasta.

Parempi tapa määrittää öljyn puhtaustavoite on tarkistaa hydraulijärjestelmässä käytettyjen komponenttien valmistajien ilmoittamat vaatimukset öljyn puhtaudelle. Kuvassa 6 on esimerkki komponentin teknisissä tiedoissa ilmoitetusta öljyn puhtaustavoituksesta. Puhtaustavoitteen määrittämistä tällä tavalla haittaa kuitenkin se, että monille komponenteille ei ole ilmoitettu lainkaan vaatimuksia hydraulioöljyn puhtaudelle.

Osalle komponenteista vaatimus hydraulioöljyn puhtaudesta on kuitenkin ilmoitettu. Tällaiset komponentit ovat pääasiassa pumppuja ja moottoreita. Myös osalle venttiileistä on ilmoitettu puhtaustavoite. Sen sijaan suurimmalta osalta venttiilejä

puhtausvaatimukset puuttuvat. Osa valmistajista ei ilmoita puhtausvaatimuksia lainkaan, mutta toiset ilmoittavat vaatimuksen yksinkertaisimmillekin osille. Puhtausvaatimukset on pääosin ilmoitettu standardin ISO 4406 mukaisesti, mutta joissain tapauksissa on käytetty NAS 1638 -järjestelmää.

Filtration:	Class 21/19/16 according to ISO 4406 or cleaner
-------------	---

Kuva 6. Öljyn puhtausvaatimus komponentin teknisissä tiedoissa [30]

Ilmoitettuja vaatimuksia öljyn puhtaudelle tarkastelemalla selviää, että hydraulipumput ja -moottorit eivät ole epäpuhtauksille kaikkein herkimpiä komponentteja, vaikka niille onkin lähes aina ilmoitettu puhtausvaatimus. Tiukimmat puhtausvaatimukset ovat sen sijaan eräillä venttiileillä.

Korkein nostinten hydraulijärjestelmien komponenteille ilmoitettu puhtausvaatimus on ISO 18/16/13. Komponentti ei kuitenkaan ole yleisesti käytössä Dinolift Oy:n valmistamien henkilönostinten hydraulijärjestelmissä. Useimpien nostinmallien hydraulijärjestelmältä vaadittu puhtaustaso on ISO 19/17/13.

Taulukon 5 antama ohjeellinen hydrauliohjyn puhtausvaatimus 18/16/13 on siis suurimmassa osassa nostinmalleja hieman komponenttivalmistajien ilmoittamaa vaatimusta kiireämpi. Se on järkevää, koska ohje on tarkoitettu käytettäväksi niissä tilanteissa, joissa tarkasti määritellyjä puhtausvaatimuksia ei ole käytettävissä. Toisaalta ohjeellinen puhtausvaatimus ei saa olla liian tiukka, jottei sen noudattamisesta aiheudu tarpeettomia kustannuksia. Sekä ohjeellinen puhtausvaatimus, että komponenttivalmistajien ilmoittamat vaatimukset olivat melkein samat. Ohjeellista vaatimusta voidaan siis pitää melko onnistuneena, mutta samalla se myös vahvistaa komponenttivalmistajien antamat vaatimukset.

4.1.1 Suodatus

Kaikkien nostinmallien hydraulijärjestelmä on varustettu öljyn suodatuksella. Myös hydrauliohjysäiliöissä olevassa huohottimessa on suodatin.

Hydraulijärjestelmältään yksinkertaisemmissa malleissa on pelkkä painesuodatin. Osassa malleja on myös paluusuodatin ja mahdollisia muita suodattimia, kuten ajovoiansiirron suljetun hydraulipiirin huuhteluvirtauksen suodatin.

4.1.2 Huolto

Oikeanlainen huolto edistää merkittävästi kaikenlaisten koneiden luotettavaa toimintaa. Dinolift Oy:n valmistamien henkilönostinten mukana toimitettava huolto-ohje sisältää

ohjeet muun muassa määräaikaishuoltoon ja vianetsintään. Henkilönostimia koskevat lisäksi viranomaisten määräämät vuositarkastukset ja yleensä kymmenen vuoden välein suoritettava perusteellinen tarkastus.

Dino-henkilönostinten huolto-ohje kehottaa vaihtamaan hydraulioöljyn suodattimet koneen ensimmäisten 20 käyttötunnin jälkeen. Samassa yhteydessä ei vaihdeta hydraulioöljyä.

Silmämääräisen tarkastuksen lisäksi hydraulijärjestelmän määräaikaishuoltoon kuuluu hydraulioöljyn ja suodattimen vaihto. Se on määrätty tapahtuvaksi 800 tunnin välein. Öljynvaihdon yhteydessä ohjeistetaan vaihtamaan myös öljysäiliön huohotin.

Öljy tulisi aina suodattaa ennen hydraulijärjestelmään lisäämistä. Siitä ei kuitenkaan ole mainintaa huolto-ohjeissa. Hydraulioöljyn suodattamiseen ei välttämättä ole mahdollisuutta huoltoa tehtäessä. Suodattaminen on kuitenkin tärkeä osa huolellisesti suoritettua öljyn lisäämistä hydraulijärjestelmään, ja se tulisi tehdä aina kun mahdollista. Uusimmat nostinmallit on varustettu öljyn täyttöliittimellä, joka ohjaa lisättävän öljyn paluusuodattimen kautta öljysäiliöön.

Osassa 3.3.4 todettiin, että järjestelmän öljyn vaihtaminen ei ole järkevää ensimmäisten 2000 tunnin aikana. Huolto-ohjeiden mukaan toimittaessa on siis vaarana, että järjestelmässä oleva öljy vaihdetaan enemmän epäpuhtauksia sisältävään. Hydraulijärjestelmän ensimmäistä öljytäytöstä voidaan pitää myöhempiä puhtaampana, jos järjestelmää valmistettaessa on torjuttu epäpuhtauksia ja järjestelmään lisätty öljy on suodatettua. Siksi ensimmäistä öljynvaihtoa ei tulisi tehdä tarpeettoman aikaisin.

Hydraulijärjestelmän ensimmäisen öljytäytöksen vaihtotarpeen määrää yleensä öljyn ominaisuuksien heikkeneminen likaantumisen sijaan, kuten osassa 3.3.4 todettiin. Mitauksilla voitaisiin selvittää, onko öljynvaihto todella tarpeellinen jo 800 käyttötunnin jälkeen. Huolto-ohje tulisi vastaavasti päivittää.

Öljyn vaihto-ohje opastaa huuhtelemaan ja puhdistamaan hydraulioöljysäiliön sisäpuolen siihen soveltuvalla aineella. Soveltuvasta aineesta ei kuitenkaan anneta tarkempia tietoja. Työhön soveltumattomalla aineella puhdistamisesta voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä. Vieraat aineet hydraulioöljyn joukossa voivat muuttaa sen ominaisuuksia. Muun muassa öljyn voitelevuus saattaa heikentyä. Ohjeissa voisi mainita esimerkkejä puhdistukseen sopivista aineista. Lisäksi tulisi mainita aineet, joita ei saa käyttää puhdistukseen.

Huolto-ohjeet sisältävät myös vianetsintäohjeita. Hydrauliiikan vikojen mainitaan johtuvan usein epäpuhtauksista. Vianetsintäohje kehottaa puhdistamaan kuhunkin vikaan liittyvän venttiiliin. Puhdistamiseen ei kuitenkaan anneta tarkempia ohjeita. Ohjeissa

voitaisiin mainita esimerkiksi puhtaiden välineiden käyttäminen. Myös nukkaavien liinosten käyttämisestä tulisi varoittaa.

Huolto-ohjeissa muistutetaan puhtauden merkityksestä koneiden huollossa. Erityisesti mainitaan epäpuhtauksien voivan aiheuttaa ongelmia hydraulijärjestelmässä. Puhtautteen liittyviä ohjeita ei kuitenkaan ole sijoitettu hydraulijärjestelmän huoltoa koskevien kohtien läheisyyteen. Jokaiseen hydraulijärjestelmän osien tai liitosten avaamista vaativaan huolto-ohjeeseen kohtaan voisi sisällyttää muistutuksen työssä vaaditusta puhtautesta.

4.2 Tuotannon nykytila

Dino-henkilönostinten hydraulijärjestelmät sisältävät pääasiassa ostokomponentteja. Osa komponenteista on räätälöity eri nostinmallien tarpeisiin. Tällaisia ovat muun muassa erilaiset venttiililohkot. Suurin osa komponenteista on kuitenkin vakiomallisia toimittajan normaalista tuotanto-ohjelmasta. Osa hydraulijärjestelmien komponenteista valmistetaan myös itse.

4.2.1 Hydraulisyylinterien valmistus

Sylinterit ovat ainoita hydraulijärjestelmän osia, joita Dinolift Oy valmistaa itse. Sylinterejä kuitenkin hankitaan tarpeen mukaan myös ulkopuolisilta toimittajilta. Sylinterien kokoonpanon lisäksi Dinolift valmistaa myös joitakin sylinterien osia.

Sylinterien valmistus käsittää seuraavat vaiheet:

1. Osien valmistus
2. Hitsaus
3. Puhdistus
4. Kokoonpano
5. Pintakäsittely

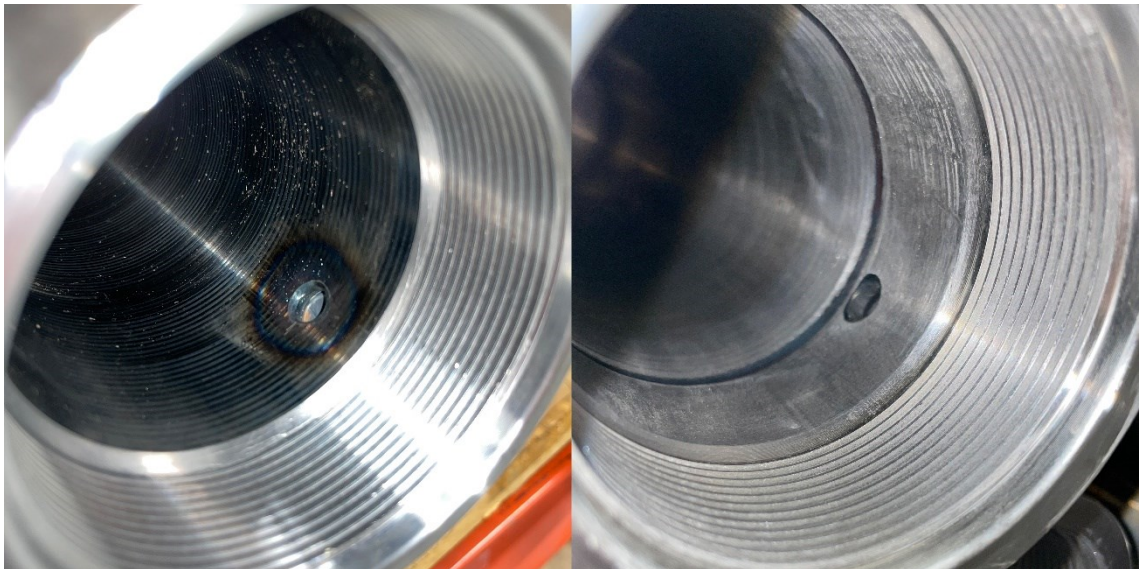
Dinolift valmistaa itse hydraulisyylinterien koneistettuja metalliosia. Sylinterien päätykappaleet hitsataan kiinni sylinteriputkiin yrityksen tehtaalla. Lisäksi hitsataan nivellaakerit männänvarsiin. Komponentit siirtyvät hitsauksen jälkeen yleensä suoraan kokoonpanoon. Jotkin komponentit vaativat kuitenkin hitsauksen jälkeen vielä koneistusta.

Hitsaus on tärkeä osa hydraulisyylinterien valmistusta. Se kuitenkin tuottaa paljon epäpuhtauksia. Hitsaus tapahtuu sylinteriputken ulkopuolelta, joten suurin osa epäpuhtauksista muodostuu putken ulkopuolelle. Putken sisällekin muodostuu kuitenkin jonkin verran hehkuhilsettä. Sylinteriputket hoonataan sisältä hitsauksen jälkeen, jolloin hehkuhilse poistuu.

Sylinterien valmistus tapahtuu oikeaoppisesti omassa tilassaan. Tilan ovet pidetään yleensä suljettuna. Se vähentää muualla syntyvien epäpuhtauksien kulkeutumista tilaan. Tilassa on koneellinen ilmanvaihto, joka puhaltaa tilaan suodatettua ilmaa. Epäpuhtauksien kulkeutumista tilaan voitaisiin entisestään vähentää ylipaineistamalla se ilmanvaihdon avulla.

Sylinterien valmistustilan läheisyydessä tapahtuu paljon epäpuhtauksia tuottavia toimintoja, kuten hitsausta, hiomista, koneistusta ja pintakäsittelyä. Erityisesti hiontapölyn kulkeutuminen tilaan tulee estää, koska hioma-aineen hiukkaset ovat hyvin kovia. Hiomisesta syntyy myös metallipölyä.

Hydraulisyylinterien valmistus sisältää monta vaihetta, joissa niihin voi muodostua, joutua tai jäädä epäpuhtauksia. Siksi monet sylinterien osat pestään ennen kokoonpanoa. Pesemällä saadaan poistettua muun muassa koneistuksessa syntyneet lastut, leikkuunestejäämät ja hoonauksessa syntynyt jäte. Pesua varten sylinterien valmistustilassa on osienpesukone ja osienpesuallas. Kuvassa 7 on esimerkki näkymästä sylinteriputken sisällä ennen puhdistusta ja sen jälkeen



Kuva 7. Sylinteriputki ennen ja jälkeen puhdistuksen

Sylinterien valmistustilassa varastoidaan sylinterien osia suojaamattomina. Osien pesu tapahtuu yleensä juuri ennen kokoonpanoa, joten puhtaat osat ovat varastoituina vain lyhyitä aikoja.

Ostokomponenttien, kuten venttiililohkojen ja putkien suojauksesta on huolehtinut niiden toimittaja. Komponenteissa on pääasiassa muovisia tulppia liittimien suojana. Osa komponenteista on lisäksi pakattu yksittäisiin muovipusseihin tulppauksen lisäksi. Ostokomponentit ovat pääasiassa hyvin suojattuja ja ne säilytetään suojattuina asennukseen asti.

Sylinterien valmistustilassa olevilla hyllyillä ja pöydillä olevissa laatikoissa on kuitenkin täysin suojaamattomina erilaisia pienempiä hydraulisynterien osia, kuten tiivisteitä ja liittimiä. Suljettuna tilana sylinterien valmistustila on muuta tehdasta puhtaampi, mutta suojaamattomana säilytetyt komponentit ovat aina alttiina epäpuhtauksille.

Valmiit sylinterit pintakäsitellään kokoonpanon jälkeen. Pintakäsittelyä varten sylinterien liittimiin asennetaan metalliset kierteitettyt tulpat, jotka kestävät ennen maalausta tehtävän raepuhalluksen. Tulpat poistetaan hydraulijärjestelmää koottaessa, minkä jälkeen ne palautetaan käytettäväksi uudelleen. Uudelleenkäyttöä odottavat tulpat ovat avonaisissa laatikoissa hydraulisynterien kokoonpanopisteillä. Tulpat puhdistetaan paineilmalla ennen uudelleenkäyttöä.

Sylinterien kokoonpanossa käytetään apuna erilaisia erikoistyökaluja. Tällaisia työkaluja ovat muun muassa tiivisteiden asennuksessa käytettävät ohjaimet. Hydraulisynterin männän tiivisteitä asennettaessa ne pyyhkivät ohjaimen pintaa. Tällöin ohjaimessa olevat epäpuhtaudet voivat siirtyä tiivisteeseen ja sitä kautta hydraulisynteriin. Ohjaimia ei puhdisteta erikseen eikä niitä suojata varastoinnin ajaksi.

4.2.2 Ostokomponentit

Hydrauliletkut tulevat ulkopuoliselta toimittajalta. Letkut ovat asennusvalmiita. Ne on katkottu määrämittaan ja niihin on asennettu asianmukaiset liittimet. Toimittaja puhdistaa letkut puhaltamalla niiden läpi puhdistuspatruunan. Letkut toimitetaan päät muovisilla tulpilla suojattuina.

Kaikki nostimissa käytetyt venttiililohkot tulevat ulkopuoliselta toimittajalta. Toimittaja huolehtii venttiililohkojen puhtaudesta oman laatuajärjestelmänsä mukaisesti ja toimittaa lohkot suojattuina.

Hydrauliöljysäiliöitä toimittavat useat ulkopuoliset valmistajat Dinoliftin suunnitelmien mukaisesti. Säiliöt on koottu teräslevyistä hitsaamalla ja ne on pintakäsittely maalaamalla. Säiliöiden sisällä ei ole pintakäsittelyä, mutta ne on suojattu ruostumista vastaan kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi.

4.2.3 Varastointi

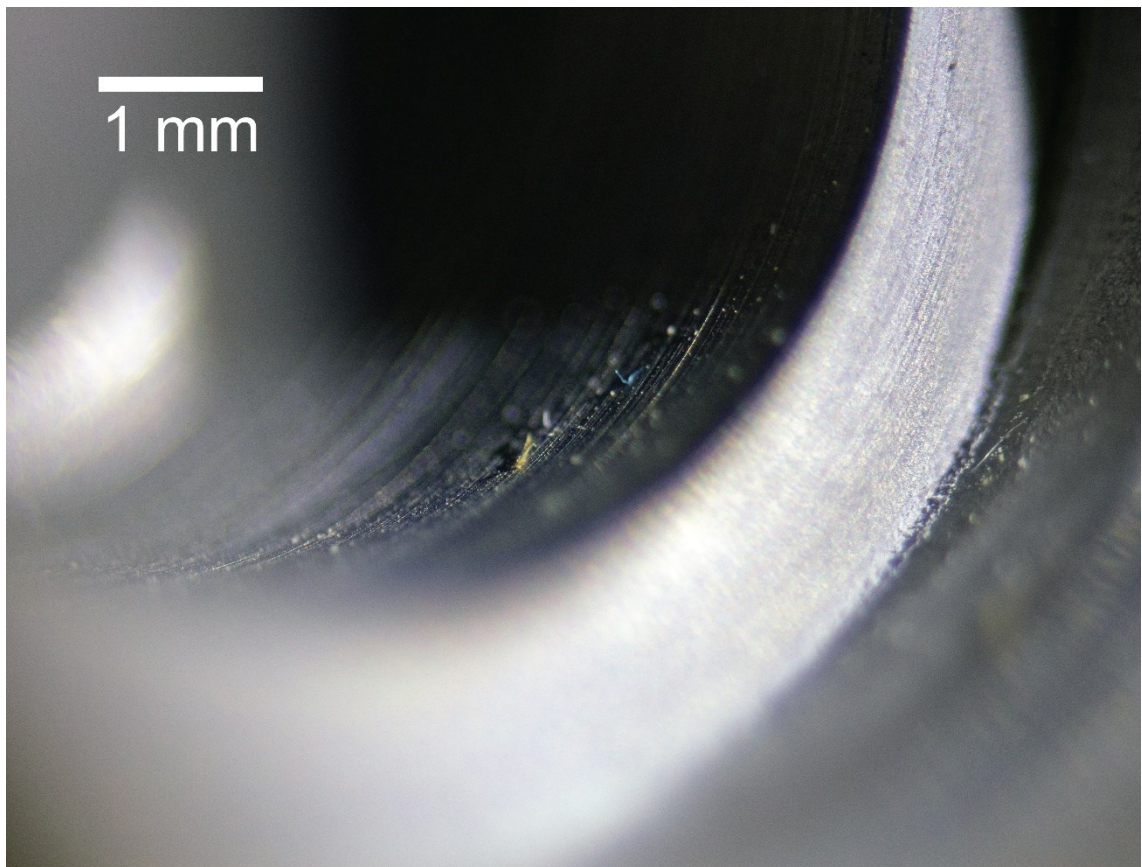
Pintakäsitellyt sylinterit varastoidaan joko kuormalavoilla, hyllyillä tai säilytystä varten tehdyissä liikuteltavissa telineissä. Sylinterien liittimiin kokoonpanon yhteydessä asennetut tulpat pidetään paikoillaan, kunnes liittimiin asennetaan letkut.

Letkuja varastoidaan pääasiassa hyllyillä ja laatikoissa. Letkujen päissä on tällöin toimittajan asentamat tulpat. Letkuja on myös varastoiduissa osakokoonpanoissa, kuten nostinten puomeissa. Osakokoonpanoissa olevat letkut on yleensä toisesta päästään liitetty

esimerkiksi hydraulisylinteriin toisen pään ollessa vapaana odottamassa liittämistä nostimen muihin osiin loppukokoonpanossa. Osakokoonpanoissa olevien letkujen vapaat päät ovat toisinaan tulppaamattomia.

Pienet hydraulikomponentit, kuten erilaiset liittimet, tulpat, tiivisteet yms. varastoidaan hyllyillä ottolaatikoissa. Laatikot ovat avoimia ja komponentit ovat niissä pääosin liitännät tulppaamattomina. Joidenkin komponenttien liitännät on tulpattu. Joissain tapauksissa tulpat löytyvät kuitenkin vain osasta komponenttien liitännöistä.

Laatikoissa voi olla jopa satoja komponentteja pitkiä aikoja alttiina epäpuhtauksille. Pienikomponenttihyllyt ovat kokoonpanotilojen yhteydessä. Kokoonpanotilat ovat puhtaampia kuin eräät muut tilat tehtaassa, mutta myös kokoonpanotiloissa on epäpuhtauksia. Kokoonpanotiloissa esiintyy muun muassa pölyä, joka on useimmiten hyvin kovaa, kuten kohdassa 2.3 todettiin. Kuvassa 8 on esimerkki epäpuhtauksista varastolaatikosta otetun komponentin sisällä. Kuvassa näkyvän reiän halkaisija on 11 mm ja mittakaava viitteellinen.



Kuva 8. *Epäpuhtauksia hydrauliliittimen sisällä*

Tehtaassa tapahtuva liikenne lisäksi tuottaa ja levittää epäpuhtauksia. Koko tehtaassa tapahtuu trukkiliikennettä. Trukeilla kuljetaan sekä sisällä että ulkona, jolloin niiden mukana kulkeutuu ulkoa sekä hiekkaa että pölyä sisätiloihin. Trukkiliikenne jauhaa hiekkaa

ja pölyä hienojakoisemmaksi ja levittää sitä ilmaan. Myös jalankulku ja muu kevyempi liikenne saa aikaan saman vaikutuksen pienemmässä mittakaavassa.

Täydet öljytynnyrit ja nestekontit varastoidaan kylmässä ulkovarastossa pystyasennossa. Öljyastiat varastoidaan samalla tavalla kuin ne on öljytoimittajalta saatu. Kuormalavoilla pystyasennossa olevia tynnyreitä on helppo kuljettaa, vaikkei tapa olekaan säilytykseen oikeaoppinen. Tuotantolinjalla käytössä olevat puolityhjät öljytynnyrit ovat myös pystyasennossa.

4.2.4 Kokoonpano

Nostinten kokoonpano tapahtuu useassa vaiheessa. Nostinten suuret osakokoonpanot, kuten puomi ja kääntölaite kootaan erikseen asennusvalmiiksi. Osakokoonpanoja tehdään myös pienemmistä osista. Lopulta eri osakokoonpanot kootaan valmiiksi nostimiksi. Osakokoonpanot tehdään pääsääntöisesti juuri ennen nostimen loppukokoonpanoa, joten niitä ei jouduta varastoimaan pitkään.

Loppukokoonpano tapahtuu tuotantolinjalla. Loppukokoonpanossa kootaan ensin nostimen alusta. Sen jälkeen nostimeen lisätään kääntölaite, puomi, kori ja muut komponentit. Lähes koko nostimen kokoonpanon aikana tehdään hydraulijärjestelmään liittyviä työvaiheita. Hydraulijärjestelmän kokoonpanon lisäksi siihen liittyviä työvaiheita ovat muun muassa öljyn lisäys ja määrän tarkastus, järjestelmän eri osien ilmaus sekä liikenopeuksien ja paineiden säätö.

Nostimessa käytetylle hydraulioöljylle on useita vaihtoehtoja, joista asiakas saa valita tarpeisiinsa sopivan. Kullekin hydraulioöljyvaihtoehdolle on omat täyttölaitteensa. Täyttölaitteet on varustettu suodattimilla.

Valmiille nostimelle suoritetaan koeajo. Koeajossa nostimen liikkeitä käytetään automaattisesti useita tunteja. Koeajon jälkeen nostimelle suoritetaan vielä loppuvarustelu ja tarkastus. Valmiit nostimet säilytetään ulkotiloissa ennen toimitusta.

Nostimen hydraulijärjestelmä kootaan vähitellen kokoonpanon aikana ja vielä kesken-eräistä järjestelmää tarvitaan eräiden työvaiheiden suorittamiseen. Hydraulijärjestelmän puhdistus huuhtelemalla ennen öljyn lisäämistä ei siksi ole mahdollista. Koeajon aikana järjestelmässä olevaa öljyä kuitenkin olisi mahdollista puhdistaa.

4.3 Parannusehdotukset

Työn teoriaosuudessa käsitellyt asiat toteutuvat Dinolift Oy:n toiminnassa osittain. Perusasiat, kuten osien pesu ja koneisiin täytettävän hydraulioöljyn suodatus ovat kunnossa.

Parannettavaakin toiminnasta löytyy. Tutkimuksen perusteella voidaan löytää ainakin seuraavat parannusten kohteet:

- Puhtaustavoitteen asettaminen
- Puhtaustavoitteen toteutumisen valvonta
- Löydettyjen epäpuhtauksien alkuperän selvittäminen
- Epäpuhtauksia torjuvien työtapojen lisääminen
- Valmiin hydraulijärjestelmän puhdistus
- Hydraulijärjestelmien komponenttien varastointi paremmin suojattuina
- Likaantumisen estämisen ja puhdistuksen helpottamisen ottaminen huomioon komponenttien suunnittelussa

5. TULOKSET

Dinolift Oy:n tuotannossa on jo käytössä merkittävimmät valmistettavien hydraulijärjestelmien puhtautta parantavat menetelmät, kuten osien pesu ja koneisiin lisättävän uuden hydraulioöljyn suodatus. Tuotantoa on kuitenkin mahdollista kehittää edelleen monin eri tavoin. Osa kehitysehdotuksista on hyvinkin pieniä ja yksinkertaisia, mutta osa on laajempia kokonaisuuksia.

5.1 Puhtaustavoite ja sen toteutuminen

Puhtaustavoitteen asettaminen on yksi tärkeimmistä tehtävistä pyrittäessä puhtaiden hydraulijärjestelmien valmistukseen. Dinoliftillä sellaista ei kuitenkaan ole asetettu. Puhtaustavoite helpottaa toimenpiteiden kohdentamista ja valmistuksenaikaisen puhtauden kehittymisen seuranta.

Puhtaustavoite on asetettava sopivalle tasolle. Liian korkea puhtaustavoite tuhlaisi resursseja tarjoamatta kuitenkaan merkittävää hyötyä. Henkilönostinten hydraulijärjestelmä asettaa puhtaudelle vain keskitason puhtausvaatimukset, joten sopivalla puhtaustavoitteella saavutettaisiin säästöjä.

Pelkkä puhtaustavoitteen asettaminen ei riitä, vaan sen toteutumista on myös valvottava. Puhtaustavoitteella asetettu selkeä raja-arvo komponenteissa oleville epäpuhtauksille helpottaa resurssien kohdentamista. Puhtaustavoitteen mukainen komponentti on riittävän puhdas ja huomio voidaan kiinnittää niihin komponentteihin, jotka eivät puhtaustavoitetta täytä.

Puhtaustavoitteesta jääneiden komponenttien sisältämien epäpuhtauksien alkuperä tulisi selvittää. Näin voidaan löytää ne työvaiheet, joissa epäpuhtaudet syntyvät tai joutuvat komponentteihin. Sopivilla toimenpiteillä voidaan estää epäpuhtauksien siirtyminen komponentteihin tai jopa estää niiden syntyminen kokonaan.

Myös hydraulijärjestelmissä käytettyjen ostokomponenttien toimittajien kanssa tulisi selvittää puhtauteen liittyviä asioita. Nykyisellään komponenttien puhtaudesta on sovittu vain erikoistapauksissa. Selvittää tulisi ainakin seuraavat kysymykset: Kuinka puhtaita ostokomponentit ovat? Täyttävätkö ne puhtaustavoitteen? Voiko toimittaja puhdistaa komponentit tavoitepuhtauteen?

5.2 Työtavat valmistuksen aikana

Lähes kaikki komponenteissa olevat epäpuhtaudet riippuvat siitä, mitä komponenteille on tai ei ole tehty. Heikko puhdistus jättää aiemmissa vaiheissa syntyneet epäpuhtaudet komponenttiin. Hyväkään puhdistus ei toisaalta auta, jos komponenttia säilytetään suojaamattomana. Likaiset kädet tai työvälineet tuovat epäpuhtauksia jo kertaalleen puhdistettuun komponenttiin. Kaikki komponenttien suunnittelusta lähtien vaikuttaa siihen kuinka puhdas vastavalmistunut hydraulijärjestelmä on.

Komponenteissa olevat epäpuhtaudet ovat peräisin joko niiden valmistusprosessista tai ympäristöstä. Ympäristöstä peräisin olevia epäpuhtauksia voidaan vähentää rajoittamalla epäpuhtauksien liikkeitä. Tuotantotiloihin voidaan rajata alueita, joilla noudatetaan suurempaa puhtautta. Epäpuhtauksien kulkeutumista näihin tiloihin esimerkiksi ilman mukana tai muulla tavoin voidaan rajoittaa muun muassa tilajärjestelyillä. Tuotantotilojen ilmassa olevan pölyn määrää ja laatua mittaamalla voidaan löytää ja sulkea pois erilaisia epäpuhtauksien lähteitä.

Valmistuksenaikaisesta puhtaudesta on laadittu useita standardeja. Niissä määritellään erilaisia tapoja puhtaiden komponenttien valmistamiseksi. Ottamalla käyttöön standardinmukaisia toimintatapoja voidaan valmistuksenaikaista puhtautta kehittää koetelluilla ja hyväksi havaituilla menetelmillä.

Uusi hydraulioöljy ei ole puhdasta. Epäpuhtauksia on yleensä monta kertaa enemmän kuin hydraulijärjestelmässä oleva öljy saisi sisältää. Hydraulioöljy on siksi aina suodatettava ennen järjestelmään lisäämistä. Suodatus tulisi suorittaa myös järjestelmän öljyjä vaihdettaessa, mutta usein siihen ei ole mahdollisuutta.

Hydraulijärjestelmässä olevia epäpuhtauksia voidaan poistaa vielä sen valmistumisen jälkeenkin. Järjestelmä voidaan huuhdella ennen käyttöönottoa, tai järjestelmässä olevaa öljyä voidaan puhdistaa järjestelmän koekäytön aikana. Jo lyhyelläkin puhdistuksella saadaan tehokkaasti vähennettyä järjestelmässä olevien epäpuhtauksien määrää.

5.3 Varastointi

Komponenttien varastointiin tulee kiinnittää huomiota. Normaali huoneilmassa leijailleva pöly on erittäin vahingollista hydraulijärjestelmän osille. Suojaamattomina varastoituihin komponentteihin pääsee pölyä ja muita epäpuhtauksia, joilla on voimakas kuluttava vaikutus hydraulijärjestelmään päästyään. Varastoinnin aikaiseen suojaukseen kiinnitetään enemmän huomiota suurempien komponenttien kohdalla. Hydraulijärjestelmät kuitenkin sisältävät suuren määrän liittimien ja tiivisteiden kaltaisia pieniä komponentteja. Niissäkin olevat epäpuhtaudet päättyvät lopulta hydraulijärjestelmään.

Hydrauliöljyyn voi joutua epäpuhtauksia jo sen ollessa vielä kuljetusastiassaan. Oikea tapa säilyttää öljytynnyreitä on tasalämpöisessä tilassa vaakasennossa. Tynnyrit kuitenkin toimitetaan pystyasennossa. Myös tuotantolinjalla olevat puolityhjät tynnyrit ovat pystyasennossa niihin asennettavan pumpun vuoksi. Vaakatasossa säilytys aiheuttaisi siis paljon ylimääräistä työtä, kun toimitetut tynnyrit pitäisi ensin asettaa vaakasentoon varastoinnin ajaksi ja nostaa uudelleen pystyyn tuotantolinjalle tuotaessa.

6. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tarkoituksena oli selvittää hydraulijärjestelmien puhtautta valmistuksen aikana. Hydraulijärjestelmissä olevat epäpuhtaudet aiheuttavat valtaosan hydraulijärjestelmien vioista ja toimintahäiriöistä. Hydraulijärjestelmien toimimattomuudesta aiheutuu suuria kustannuksia sekä koneiden käyttäjille, että takuuajana myös valmistajalle. Uusien koneiden hydraulijärjestelmien toimintahäiriöitä voidaan tehokkaasti vähentää huolehtimalla puhtaudesta hydraulijärjestelmän valmistuksen aikana.

Työssä oli kaksi tutkimuskysymystä:

1. Miten saadaan valmistettua kone, jonka hydraulijärjestelmä on riittävän puhdas?
2. Mitä toimia Dinolift Oy:n tuotannossa on jo käytössä epäpuhtauksien torjumiseksi ja mitä voitaisiin vielä tehdä hydraulijärjestelmien puhtauden lisäämiseksi?

Tutkimuskysymyksiin vastattiin tekemällä kirjallisuuskatsaus hydraulijärjestelmien puhtaudesta. Lisäksi tarkasteltiin henkilönostinten hydraulijärjestelmien tuotantoa Dinolift Oy:ssä.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä, miksi puhtaus on tärkeää hydraulijärjestelmissä, miten saadaan valmistettua puhtaita hydraulijärjestelmiä ja mitä Dinolift Oy voisi tehdä valmistamiensa henkilönostinten hydraulijärjestelmien puhtauden kehittämiseksi. Työn tuloksena saadut merkittävimmät menetelmät valmistettavien hydraulijärjestelmien puhtauden kehittämiseksi ovat seuraavat:

- Valmistettavalle hydraulijärjestelmälle on asetettava puhtaustavoite.
- Puhtaustavoitteen täyttymistä on valvottava, ja jos tavoitetta ei saavuteta, on poikkeaman syy selvitettävä ja korjattava.
- Hydraulijärjestelmän valmistuksessa ja komponenttien varastoinnissa on käytettävä hyväksi havaittuja käytäntöjä, joita voidaan saada esimerkiksi standardeista.

Tulosten perusteella tulisi asettaa sopivalla tasolla oleva puhtaustavoite hydraulijärjestelmälle ja suorittaa mittauksia tavoitteen saavuttamisesta. Lisäksi tulisi lisätä puhtautta edistäviä tapoja hydraulijärjestelmien tuotannossa. Tutkimusta voitaisiin jatkaa selvittämällä komponenteissa ja tuotantotiloissa olevien epäpuhtauksien määrää ja alkuperää.

LÄHTEET

1. Michael P, Blazel B. Minimizing the impact of built-in contamination. *Hydraul Pneum.* 2011;64(2):86-.
2. Isohella AR. Kurpan konepaja: Saviseudun patruunan tarina. Loimaa: Leena Kurppa; 2011. 349 s.
3. Hodges PKB. *Hydraulic Fluids.* Burlington: Elsevier Science; 1996. 188 s.
4. Sutherland K. *Filters and filtration handbook.* 5th ed. Oxford: Elsevier; 2008. 536 s.
5. Totten GE, Negri VJ de. *Handbook of hydraulic fluid technology.* 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC Press; 2012. 963 s.
6. Zhang R cai, Yu X, Hu Y long, Zang H jiao, Shu W. Active control of hydraulic oil contamination to extend the service life of aviation hydraulic system. *Int J Adv Manuf Technol.* 2018;96(5–8):1693–704.
7. Bosch Rexroth AG. *Rexroth Oil Cleanliness Booklet* [Internet]. 2014 [viitattu 29. marraskuuta 2022]. Saatavissa: https://dc-corp.resource.bosch.com/media/general_use/service_new/ia/brochures/GB_Bosch_Oelreinheitsfibel_Jan2014indd.pdf
8. Hamblin MG, Stachowiak GW. Description of Abrasive Particle Shape and Its Relation to Two-Body Abrasive Wear. *Tribol Trans.* 1996;39(4):803–10.
9. Mohs' hardness scale. *Teoksessa* 2009. s. 578–578.
10. Parker Hannifin Corporation. *Guide to Contamination Standards* [Internet]. [viitattu 3. helmikuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/EMHFF/ConMon/Guide-to-Contamination-Standards.pdf>
11. Arndt B. Too many rating systems confuse filtration needs. *Mach Des.* 1992;64(5):46–46.
12. Luneta LLC. *STANDARD FLOW OIL SAMPLING KIT* [Internet]. [viitattu 13. helmikuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.luneta.com/products/oil-sampling-kit>
13. Chapple P. *Principles of hydraulic systems design.* Second edition. New York, [New York] (222 East 46th Street, New York, NY 10017): Momentum Press; 2015. (Fluid mechanics collection).
14. Lee JC, Shin HM, Tessmann RK. An Investigation of Roll-off Cleanliness for Hydraulic Systems and its Application to a Tractor. *Biosyst Eng.* 2007;96(1):19–27.
15. Smith DJ. *Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers.* San Diego: Elsevier Science & Technology; 2021.
16. Rochowicz M. VDA 19 Teil 2: Technische Sauberkeit in der Montage: Vortrag gehalten beim VDA QMC Expertenforum, IAA Nutzfahrzeuge am 24. September 2012 in Hannover [Internet]. 2012 [viitattu 1. helmikuuta 2023]. Saatavissa: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-234278.html>
17. FABER J, BRODZIK K, NYCZ M. Understanding technical cleanliness: importance, assessment, maintenance. *Combust Engines.* 2021;186(3):41–50.

18. Peterson DS. Cleaning for ISO 16232. Prod Finish. 2016;80(4):42-.
19. Schulz D. VDA 19 AND ITS IMPACT on European Manufacturing and Cleaning. Prod Finish. 2013;78(1):74-.
20. Sahoo M. Principles of metal casting. McGraw-Hill Professional; 2014.
21. Downs DC. Keeping hydraulic fluid clean. Plant Eng. 1997;51(3):86–8.
22. Exxon Mobil Corporation. How to ensure proper oil cleanliness in lubrication systems [Internet]. 2018 [viitattu 21. marraskuuta 2022]. Saatavissa: <https://www.global.mobil.com/-/media/files/global/us/industrial/lubrication-systems-cleanliness/how-to-ensure-proper-oil-cleanliness-in-lubrication-systems-us.pdf>
23. Durkee JB. Management of industrial cleaning technology and processes. Oxford: Elsevier; 2006. 481 s.
24. Promaint-lehti. Täältä pesee hydraulikomponenttien pesukoneet ja nesteet kuntoon [Internet]. [viitattu 13. helmikuuta 2023]. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/Taalta-pesee-hydraulikomponenttien-pesukoneet-ja-nesteet-kuntoon>
25. Staff Report. Hydraulic System Flushing Procedures. Hydraul Pneum. 2014;
26. Carl Schaschke. Reynolds number. Teoksessa: 1. p. Oxford University Press; 2014.
27. Reynolds number. Teoksessa: Dictionary of energy. 2014.
28. Marcel Escudier, Tony Atkins. Reynolds number. Teoksessa: 1. p. Oxford University Press; 2013.
29. Berner Oy. KÄYTTÖTURVALLISUUSTIEDOTE Mineraalitärpätti [Internet]. 2019 [viitattu 17. marraskuuta 2022]. Saatavissa: <https://app.ecoonline.com/ecosuite/applic/shoplink/shop-link.php?msdsCid=1019947&viewForm=pdf&msdsLang=5&msdsInt=54017>
30. HYDAC Fluidtechnik GmbH. Needle Valves with and without Reverse Flow Check Direct-Acting Inline Mounted - 350 bar DV- / DRV- 06 to 16 [Internet]. [viitattu 6. helmikuuta 2023]. Saatavissa: <https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000000005119120011.pdf>